الديناميكا الحرارية Thermo dynamics (ME210)

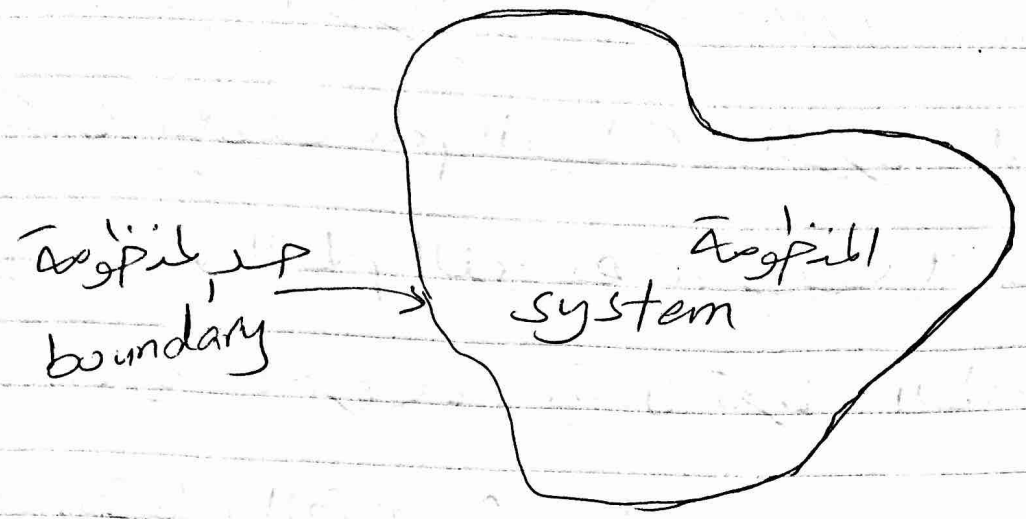
يمكن تعريف علم الديناميكا الحرارية على أنه علم الطاقة أي أنه هو العلم الذي يهتم بطرق إنتقال الطاقة من صورة لأخرى، ويمكن تعريف الطاقة على أنها القدرة على القيام بشيء ما.

- أهم المفاهيم الأساسية في الديناميكا الحرارية:-

1 المنظومة (system):-

المنظومة الديناميكية الحرارية هي عبارة عن كمية من المادة أو حيز من الفراغ إختيرت لغرض الدراسة والتحليل. وتسمى الكتلة أو الحيز الخارج عن المنظومة بالمحيط المجاور (surroundings)، كما يسمى السطح الذي يفصل المنظومة عن محيطها المجاور بحد المنظومة (boundary)

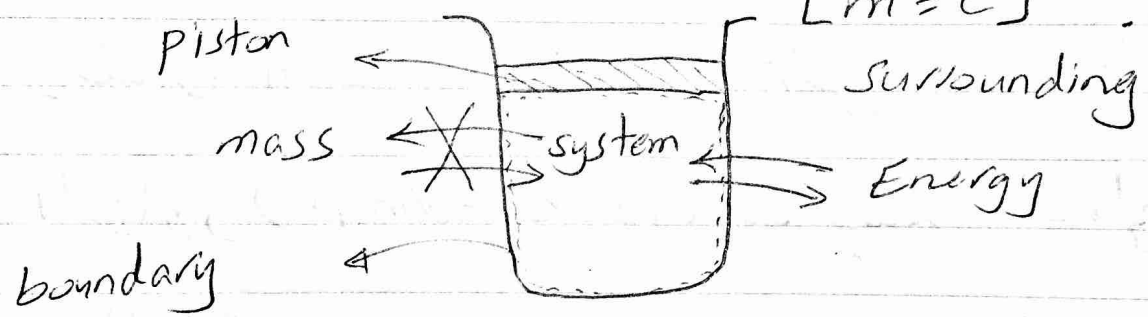
- ملاحظة: يمكن أن يكون الحد الفاصل بين المنظومة والمحيط المجاور فعلياً أو خيالياً ويمكن أن يكون ثابتاً أو متحركاً.



- أنواع المنظومات :-

1- المنظومة المغلقة (closed system) :-

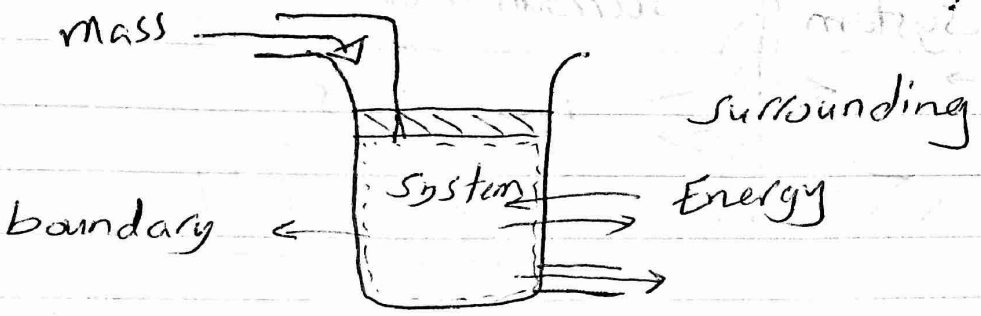
وتسمى أيضا بـ (control mass) وهي المنظومة التي تكون كتلتها ثابتة أي لا يسمح بدخول أو خروج الكتلة من المنظومة. [m=c]



نلاحظ هنا إمكانية إنتقال الطاقة في صورة حرارة أو شغل أما في صورة كتلة فإنه غير مسموح.

2- المنظومة المفتوحة (open system) :-

وتسمى أيضا بـ (Controlled Volume) ، ويكون مسموح للكتلة بعبور حدود المنظومة (لاتكون الكتلة ثابتة في المنظومة المفتوحة إلا إذا كان معدل دخول الكتلة للمنظومة مساوٍ لمعدل خروجها).



نلاحظ هنا إمكانية إنتقال الطاقة في صورها الثلاث وهي :-

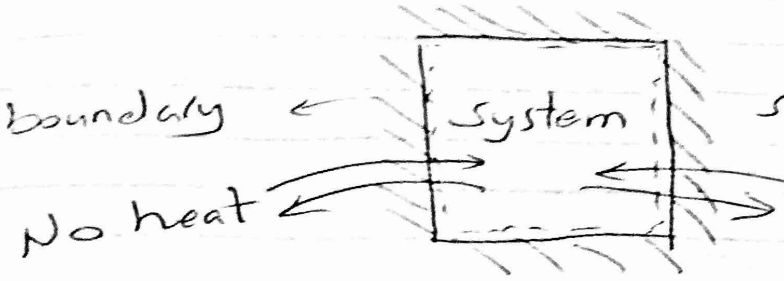
- إنتقال الطاقة في صورة حرارة.
Energy Transfer by heat.

إنتقال الطاقة في صورة شغل.
Energy Transfer by work.

إنتقال الطاقة في صورة كتلة.
Energy Transfer by mass.

- حالة خاصة :-

عندما لا يسمح الكتلة و الطاقة الحرارية بعبور حدود المنظومة نسمى المنظومة بالمنظومة المعزولة (Isolated system)



* أنماط الطاقة :-

توجد الطاقة في صورة أنماط متعددة : منها الطاقة الحرارية و الميكانيكية و الكهربائية و النووية وغيرها وبشكل مجموعها الطاقة الكلية (E) Total Energy

$$e = \frac{E}{m}$$

e ⇒ الطاقة الكلية لكل وحدة كتلة (KJ/kg)

E ⇒ الطاقة الكلية (KJ)

m ⇒ الكتلة (Kg)

ويتم تصنيف الأشكال المتعددة للطاقة إلى مجموعتين:

① الأشكال العينية (Macroscopic): كالطاقة الحركية والطاقة الوضعية.

② الأشكال المجهرية (microscopic): كالطاقة الداخلية.

* الطاقة الحركية (Kinetic Energy):-

$$KE = \frac{1}{2}mV^2 \quad (kJ)$$

$m \Rightarrow$ الكتلة (kg)

$V \Rightarrow$ السرعة (m/s)

$KE \Rightarrow$ الطاقة الحركية (J)

ملاحظة:-

حاصل ضرب $\left[kg \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2\right]$ يكون $[J]$ ولتحويله إلى $[kJ]$ نقسم هذا العدد على (1000).

يمكن التعبير عن الطاقة الحركية على أساس وحدة الكتلة كالتالي:-

$$ke = \frac{KE}{m} = \frac{1}{2}V^2 \quad (kJ/kg)$$

* الطاقة الوضعية (Potential Energy) :-

$$PE = mgz \quad (kJ)$$

$m \Rightarrow$ الكتلة (kg)

$g \Rightarrow$ عجلة الجاذبية الأرضية $g = 9.81 (m/s^2)$

$PE \Rightarrow$ الطاقة الوضعية (J)

$z \Rightarrow$ الإرتفاع (m)

- ملاحظة :-

وحدة قياس $[kg.\frac{m}{s^2}.m]$ يكون $[J]$

وبقسمة الناتج على 1000 نتحصل على $[kJ]$.

ويمكن التعبير عن الطاقة الوضعية على أساس وحدة الكتلة كالتالي :-

$$pe = \frac{PE}{m} = gz \quad (kJ/kg)$$

* الطاقة الداخلية (Internal Energy) :-

وهي عبارة عن مجموعة كل أشكال الطاقة المجهرية (microscopic) ويرمز لها بالرمز U

* ملاحظة: سيتم التحدث في هذا المقرر على أن الطاقة الكلية هي مجموع الطاقات الحركية والوضعية والداخلية.

- التغير في الطاقة الحركية:

$$\Delta KE = KE_2 - KE_1 = \frac{1}{2}mV_2^2 - \frac{1}{2}mV_1^2 \quad (kJ)$$

$$\boxed{\Delta KE = \frac{1}{2}m\left(V_2^2 - V_1^2\right)} \quad (kJ)$$

- التغير في الطاقة الوضعية:

$$\Delta PE = PE_2 - PE_1 = mgz_2 - mgz_1 \quad (kJ)$$

$$\boxed{\Delta PE = mg(z_2 - z_1)} \quad (kJ)$$

- التغير في الطاقة الداخلية:

$$\boxed{\Delta U = U_2 - U_1} \quad (kJ)$$

ويمكن التعبير عن الطاقة الداخلية على أساس وحدة الكتلة كالتالي:

$$\boxed{u = \frac{U}{m}} \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

- الطاقة الكلية (Total Energy) :-

Total Energy = Kinetic Energy + potential Energy + internal Energy

$$E = \frac{1}{2}mV^2 + mgZ + U \qquad (KJ)$$

ويمكن التعبير عن الطاقة الكلية على أساس وحدة الكتلة كالتالي :-

$$e = \frac{E}{m}$$

$$e = \frac{1}{2}V^2 + gZ + u \qquad (KJ/Kg)$$

ويكون التغير في الطاقة الكلية كالتالي :-

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(Z_2 - Z_1) + U_2 - U_1$$

2 الطور (phase) :

الطور عبارة عن كمية من المادة تكون متجانسة التركيب الكيميائي.

* وعادةً شائع :- يكون للمادة ثلاثة أطوار وليس ثلاثة حالات.

- أطوار المادة :-

① الطور الصلب (solid)

② الطور السائل (liquid)

③ الطور الغازي (gas)

- ملاحظة :- يكون لكل طور من أطوار المادة عدد لا نهائي من الحالات.

3 الخواص الديناميكية الحرارية :

تعبر أي مميز للمنظومة خاصية (property) مثل الضغط (p) والحجم (V) ودرجة الحرارة (T) والكتلة (m) وغيرها. وهناك خواص تكون مشتقة من الخواص الأخرى مثل الكثافة (density)

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (kg/m^3)$$

فقد اشتقت الكثافة من الكتلة والحجم.

وهناك أيضا الكثافة النسبية والتي هي حاصل

قسمة كثافة المادة على كثافة الماء.

$$\rho_s = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \qquad \text{(unitless) ليس لها وحدات}$$

$$\rho_{H_2O} = 10^3 \ (kg/m^3)$$

- الحجم النوعي (specific volume) :-

وهو الحجم لكل وحدة كتلة. وهذه الخاصية مستخدمة كثيراً في الديناميكا الحرارية.

$$v = \frac{V}{m} \qquad (m^3/kg)$$

وعليه فإن الحجم النوعي هو مقلوب الكثافة. أي أن:

$$\Rightarrow \rho = \frac{1}{v}$$

* وتصنف الخواص الديناميكية الحرارية إلى صنفين:

① الخواص المركّزة (intensive properties):

وهي خواص تكون مستقلة عن الحجم ولا تعتمد على الكتلة (independent of mass) مثل درجة الحرارة (T) والضغط

و الكثافة (ρ) وغيرها .

② الخواص الممتدة (Extensive properties) :

وهي تلك الخواص التي تعتمد على حجم أو مدى المنظومة .

أي أن هذه الخواص تعتمد على الكتلة (dependent of mass) مثل الكتلة (m) والحجم (V) والطاقة الكلية (E) .

* ملاحظة :-

يمكن التمييز بين الخواص المركزة (intensive property) والخواص الممتدة (Extensive properties) وذلك عن طريق تقسيم المنظومة إلى جزأين بحاجز . فإذا إنقسمت الخاصية الديناميكية الحرارية أيضاً إلى جزأين فإنها تكون ممتدة (Extensive) وإن بقيت كما كانت قبل أن تقسم المنظومة فإنها تكون مركزة (intensive)

- ملاحظة :

تستخدم الحروف الكبيرة للإشارة إلى الخواص الممتدة عدا الكتلة (m) وتستخدم الحروف الصغيرة للإشارة إلى

الخواص المركزة عدا الضغط (p) ودرجة الحرارة (T).

- ملاحظة :-

يمكن تحويل الخواص الممتدة إلى الخواص المركزة وذلك عن طريق قسمتها على الكتلة وبالتالي فإنها تسمى أيضا بالخواص النوعية.

مثل ⇐ الحجم النوعي $v = \frac{V}{m}$

الطاقة الكلية النوعية

$$e = \frac{E}{m}$$

الطاقة الداخلية النوعية

$$u = \frac{U}{m}$$

4 الحالة (state) :

يتم تحديد حالة المادة عن طريق خواصها.

5 التوازن (equilibrium) :

تتعامل الديناميكا الحرارية مع حالات التوازن وتتضمن

كلمة التوازن حالة الإتزان.

- يقال للمنظومة أنها في حالة توازن حراري إذا كانت درجة الحرارة متساوية خلال جميع أجزاء المنظومة.

- ويقال أن المنظومة في حالة توازن ميكانيكي إذا كانت محصلة القوى المؤثرة عليها صفر.

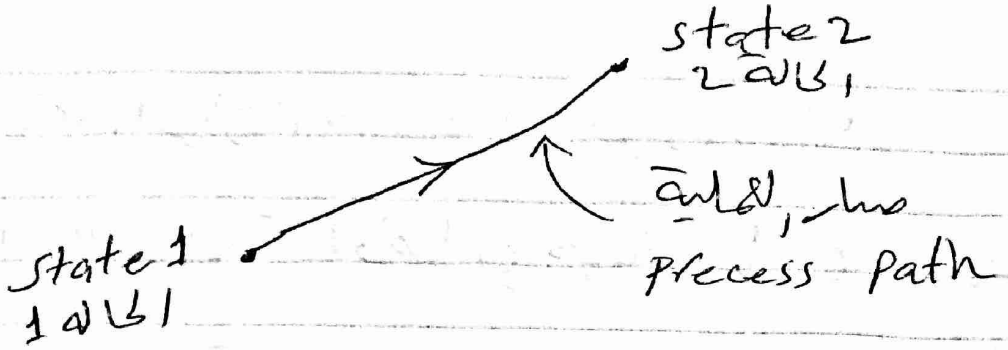
- ويقال أن المنظومة في حالة توازن كيميائي إذا كان تركيبها الكيميائي لا يتغير مع الزمن. أي أنه لا يحدث تفاعل كيميائي.

6 العملية (process):

يسمى أي تغير تقوم به المنظومة من حالة إلى أخرى بالعملية (process).

ويكون تغير المنظومة خلال عملية ما من حالة إتزان إلى حالة إتزان أخرى.

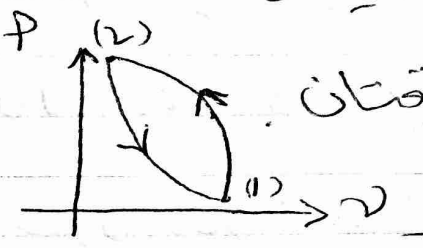
مسار العملية: عبارة عن سلسلة من الحالات التي تمر بها المنظومة.



- العملية الشبه متوازنة (quasi-equilibrium process):
هي عملية بطيئة جداً يكفي ليسمح لها بتعديل نفسها داخلياً حتى لا تتغير خاصية في جزء منه تقدر أسرع من تغير نظيرتها في جزء آخر.

7 الدورة (cycle):-

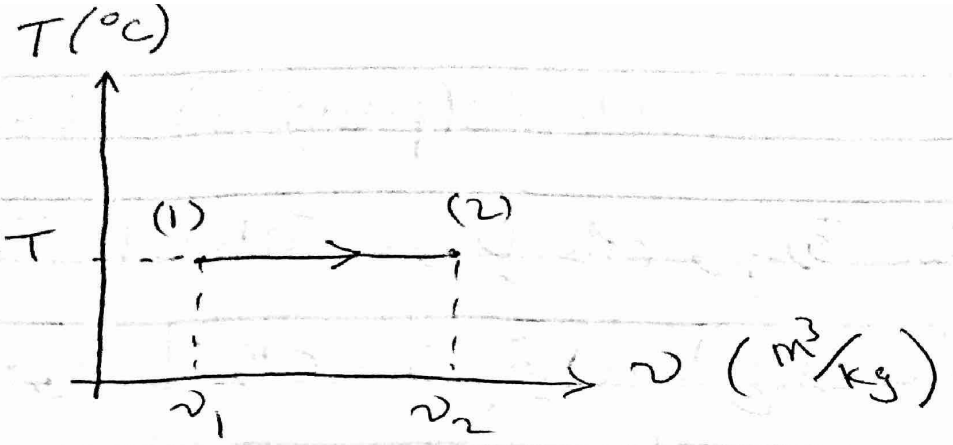
يقال أن المنظومة قامت بدورة (cycle) إذا عادت إلى حالتها الأصلية عند نهاية العملية. أي أن الحالة الأصلية والحالة النهائية للدورة متطابقتان.



* بعض أنواع العمليات (Some types of processes):-

1 العملية الثابتة درجة الحرارة (Isothermal process)

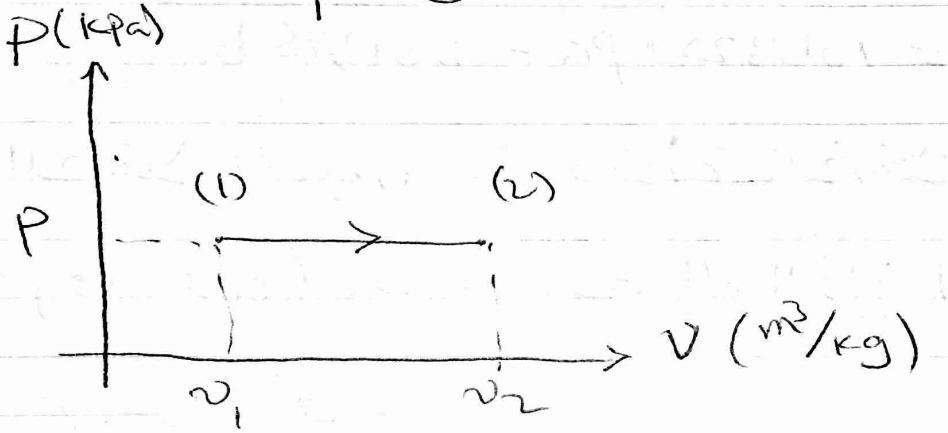
$$T = C$$



نلاحظ في عملية إنتقال المنظومة من حالة لأخرى إبقاء درجة الحرارة ثابتة.

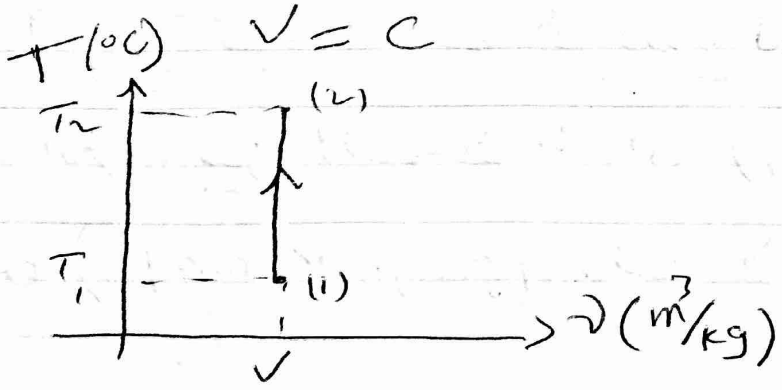
② العملية الثابتة الضغط (Isobaric process):

$$P = C$$



③ العملية الثابتة الحجم (Iso choric or Iso metric process):

$$V = C$$



* الضغط (pressure):

هو القوة المبذولة عمودياً على وحدة مساحة. وتكون هذه القوة مبذولة من قبل مائع (سائل أو غاز).

$$P = \frac{F}{A} \qquad \left(Pa = \frac{N}{m^2}\right)$$

$\Rightarrow$ $1\ kpa = 10^3\ Pa$

$\Rightarrow$ $1\ bar = 100\ kpa = 10^5\ pa$

$\Rightarrow$ $1\ atm = 101.325\ kpa = 1.013,25\ bar$

ويسمى الضغط الحقيقي عند نقطة بالضغط المطلق (absolute pressure) ويقاس نسبة إلى الفراغ المطلق، أي ضغط صفر مطلق.

- ملاحظة:

معظم أجهزة قياس الضغط تدرج لتعطي صفر في الجو ويسمى الفرق بين الضغط المطلق (P_{abs}) و الضغط المقاس (gauge pressure P_g) بالضغط الجوي (P_{atm})

وعليه فإن الضغط المطلق P_{abs} يكون مجموع الضغط P_g و P_{atm}

$$\boxed{P_{abs} = P_{atm} + P_g}$$

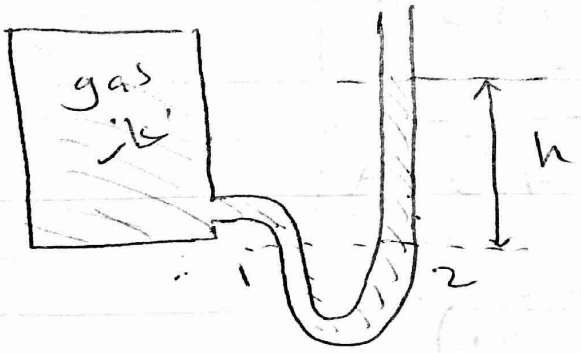
- تسمى الضغوط التي تحت الضغط الجوي بضغوط الفراغ (Vacuum pressure) وتكون كالتالي

$$\boxed{P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}}$$

* أهم الأجهزة المستخدمة لقياس الضغط :-

1 المانومتر (manometre) :

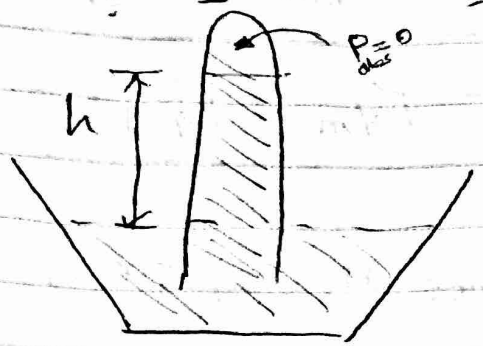
تقاس فرق الضغط الصغيرة والمعتدلة في الغالب بإستخدام المانومتر



$$\boxed{P_1 = P_{atm} + \rho g h} \quad (kPa)$$

2 البارومتر (barometre) :

يقاس الضغط الجوي عن طريق جهاز البارومتر.



$$P_{atm} = \rho g h \qquad (kpa)$$

* درجة الحرارة والقانون الصفري للديناميكا الحرارية :-

تقاس درجة الحرارة بعدة مقاييس :

1 Celsius scale (^oC) 2 fehrenheit scale (^of)

3 Kelvin Scale (K) 4 Rankin scale (R)

$$T_K = T_c + 273.15$$

$$T_R = T_f + 459.67$$

$$T_c = \frac{5}{9}(T_f - 32)$$

- ملاحظة: التغير في درجة الحرارة على المقياس المئوي مساوي للتغير في درجة الحرارة على المقياس المطلق

$$\Delta T_K = \Delta T_C$$

أيضاً

$$\Delta T_R = \Delta T_F$$

((مسائل متنوعة))

1 ما هي القوة اللازمة لتعجيل كتلة 50kg عند معدل $20\ m/s^2$ ؟

« solution »

$$m = 50\ kg \ , \ a = 20\ m/s^2$$

$$F = ma = 50 \times 20 = 1000\ N = 1\ kN$$

---

2 أوجد كتلة ووزن الهواء الموجود في غرفة أبعادها 8m x 6m x 4m ؟ نفترض أن كثافة الهواء تساوي $1.16\ kg/m^3$

« solution »

$V = 6 \times 6 \times 8 = 288\ m^3$, $\rho_{air} = 1.16\ kg/m^3$

$\because \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$

$m = 1.16 \times 288 = 334.08\ kg$

$W = mg = 334.08 \times 9.81 = 3277.72\ N$

$\therefore W = 3.277\ kN$

---

3 إذا كانت عجلة الجاذبية الأرضية عند موقع زاوية خط عرض 5° دالة للإرتفاع فوق سطح البحر Z ويعبر عنها بالعلاقة $g = a - bz$ حيث $a = 9.807\ \frac{m}{s^2}$, $b = 3.32 \times 10^{-6}\ s^{-2}$. أوجد الإرتفاع فوق سطح البحر حيث ينقص وزن الجسم بنسبة 1% ؟

"solution :

$\because W = mg$

وبما أن الكتلة ثابتة لم تتغير ، أي أنه المطلوب إيجاد الإرتفاع عندما تنقص عجلة الجاذبية بمقدار 1% .

$g_1 = 9.807\ m/s^2$ at $z_1 = 0$

$g_2 = (1 - 0.01) g_1 = 0.99 g_1 = 9.70893\ m/s^2$

$$g_2 = a - bz_2 \Rightarrow bz_2 = a - g_2$$

$$z_2 = \frac{a - g_2}{b} = \frac{9.807 - 9.70893}{3.32 \times 10^{-6}}$$

$$z_2 = 29539.16\,m = 29.539\,(km)$$

---

4) أخذ رجل فضاء وزنه 75kg ميزان الناضح وميزان الحائط إلى سطح القمر حيث عجلة الجاذبية هناك $g = 1.67 \frac{m}{s^2}$. كم يزن رجل الفضاء على سطح القمر؟

"solution":

$$m = 75\,kg \quad , \quad g = 1.67\ m/s^2$$

$$W = mg = 75 \times 1.67 = 125.25\,N$$

---

5) يقرأ مقياس فراغ موصل إلى خزان 30kpa عند موقع حيث القراءة البارومترية 0.755mmHg أوجد الضغط المطلق داخل الخزان. خذ $\rho_{Hg} = 13590 \frac{kg}{m^3}$؟

"solution":

$$P_{Vac} = 30\,kPa$$

$$P_{atm} = \rho g h = 13590 \times 9.81 \times 0.755 = 100655\,Pa$$

$$P_{atm} = 100.655\,kPa$$

$$\therefore P_{Vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{Vac} = 100.655 - 30$$

$$P_{abs} = 70.655 \text{ kpa}$$

---

٦ يقرأ مقياس ضغط موصل إلى خزان 3.5bar عند موقع حيث القراءة البارومترية هي 75cmHg. أوجد الضغط المطلق داخل الخزان. خذ $\rho_{Hg} = 13590 \frac{kg}{m^3}$.

"Solution"

$$P_g = 3.5 \text{ bar} = 3.5 \times 100 \text{ kpa} = 350 \text{ kpa}$$

$$P_{atm} = \rho g h = 13590 \times 9.81 \times 0.75 \approx 100 \text{ kpa}$$

$$\therefore P_{abs} = P_g + P_{atm}$$

$$P_{abs} = 350 + 100 = 450 \text{ kpa} = 4.5 \text{ bar}$$

---

٧ يقرأ بارومتر متسلق الجبال 0.930bar عند بداية تسلقه للجبل و 0.780bar عند نهاية تسلقه. أوجد بإهمال تأثير الإرتفاع على عجلة الجاذبية الأرضية، الإرتفاع الذي تم تسلقه.

أفرض أن متوسط كثافة الهواء $1.2\ kg/m^3$ ، خذ $g = 9.7\ m/s^2$ ؟

"solution :

$P_{down} = 0.93\ bar = 93\ kPa$ ، $P_{up} = 0.78\ bar = 78\ kPa$

$\therefore P_{down} - P_{up} = \rho g h$

$\therefore h = \frac{P_{down} - P_{up}}{\rho g} = \frac{93 - 78}{1.2 \times 9.7}$

$\therefore h = 1.289\ km$

---

8 أوجد الضغط المبذول على غواص عند 30m تحت سطح ماء البحر. أفرض بأن الضغط البارومتري هو 101kPa والكثافة النسبية لماء البحر 1,03 ؟

"solution :

$\rho_s = 1.03$ ، $h = 30m$ ، $P_{atm} = 101kPa$

$\therefore \rho_s = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \Rightarrow \rho = \rho_s \rho_{H_2O} = 1.03 \times 10^3 = 1030\ \frac{kg}{m^3}$

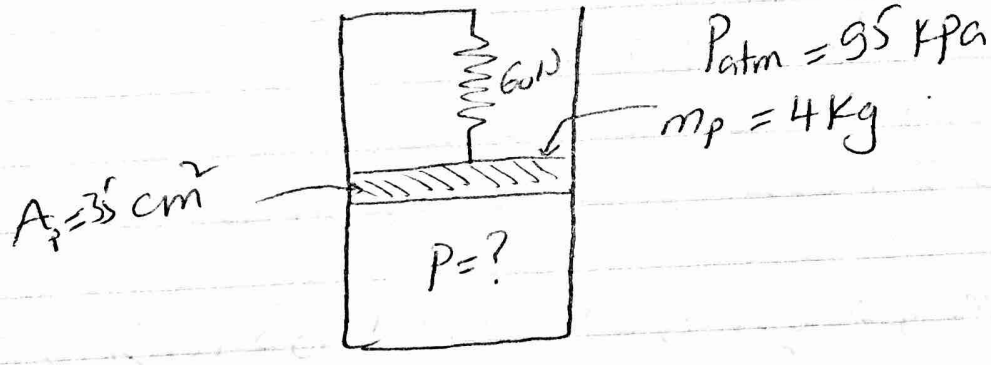
$P_{down} = P_{up} + \rho g h = P_{atm} + \rho g h$

$$P_{down} = 101 + 1030 \times 9.81 \times 30 \times 10^{-3}$$

$$P_{down} = 404.129 \text{ kPa}$$

---

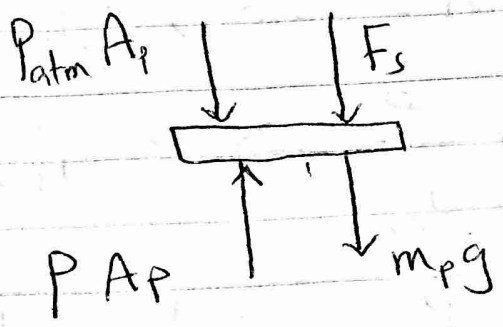
٥ يوجد غاز داخل جهاز مكبس و إسطوانة رأسي ولا احتكاكي كما موضح بالشكل. وكانت كتلة المكبس 4kg ومساحة قاعدته $35\ cm^2$. ويوجد فوق المكبس نابض مضغوط بقوة 60N على المكبس. أوجد إذا كان الضغط الجوي 95 kPa الضغط داخل الإسطوانة؟



" solution "

$A_p = 35\ cm^2 = 35 \times 10^{-4}\ m^2$, $P_{atm} = 95$ kPa , $m_p = 4$kg

$F_s = 60N$



$$+\uparrow \sum F = 0$$

$$PA_p - P_{atm}A_p - F_s - m_p g = 0$$

$$P = \frac{P_{atm}A_p + F_s + m_p g}{A_p}$$

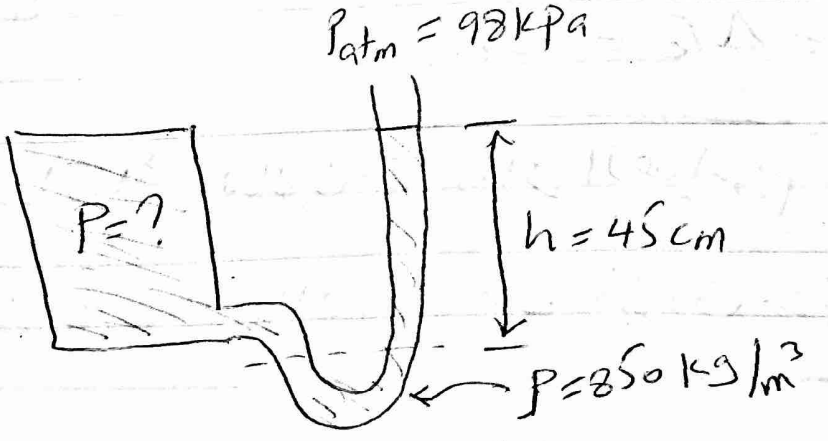
$$P = P_{atm} + \frac{F_s}{A_p} + \frac{m_p g}{A_p}$$

$$P = 95 + \frac{60}{35\times10^{-4}} \times 10^{-3} + \frac{4 \times 9.81}{35\times10^{-4}} \times 10^{-3}$$

$$P = 123.354 \text{ kPa}$$

---

10 وصل مانومتر محتوياً على زيت $\rho = 850 \frac{kg}{m^3}$ إلى خزان مملوء بالهواء كما هو مبين بالشكل. فإذا كان الفرق في مستوى الزيت بين العمودين 45cm ، والضغط الجوي 98kPa أوجد الضغط المطلق للهواء داخل الخزان ؟



" Solution :

$\rho = 850\ kg/m^3$, $h = 45\ cm = 0.45\ m$, $P_{atm} = 98\ kPa$

$P_g = \rho g h = 850 \times 9.81 \times 0.45 \times 10^{-3} = 3.7523\ kPa$

$P_{abs} = P_g + P_{atm} = 101.752\ kPa$

---

11 درجة حرارة جسم رجل سعاني درجة حرارته بالكلفن ؟ 37°C

$T_C = 37°C$

" Solution :

$T_K = T_C + 273.15 = 310.15\ K$

---

12 ترتفع درجة حرارة سخانة بمقدار 30°C أثناء عملية تسخين . عبر عن الإرتفاع في درجة الحرارة بالكلفن ؟

" Solution :

$\Delta T_C = 30\ C°$

$\Delta T_K = \Delta T_C = 30\ K$

---

1 غالباً ما تملأ البالونات بغاز الهيليوم لأنه يزن حوالي ربع ما يزن جزيء من الهواء تحت ظروف مطابقة . وقوة

الطفو الذي يمكن التعبير عنها بالعلاقة: $F_B = \rho_{air} g V_{ballon}$ ستدفع البالون إلى أعلى.. فإذا كان قطر البالون 10m ويحمل شخصين كل منهما يزن حوالي 70kg. أوجد حمولة البالون عند إطلاقه في البداية. أفرض أن كثافة الهواء $1.16 kg/m^3$ وأهمل وزن الحبل والقفص؟

"solution"

$$W_{He} = \frac{1}{7} W_{air} \Rightarrow m_{He} = \frac{1}{7} m_{air} \quad , D = 10m$$

$$m_1 = m_2 = 70kg, \quad \rho_{air} = 1.16 \ kg/m^3$$

أولاً نوجد حجم البالون:

$$V_{ballon} = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (5)^3 = 523.599 \ m^3$$

نقوم بإيجاد قوة الطفو:

$$F_B = 1.16 \times 9.81 \times 523.599 = 5958.345 \ N$$

ومن قانون نيوتن:

$$m_T a = \sum F \Rightarrow m_T a = F_B - (m_1 + m_2 + m_{He}) g$$

$$a = \frac{F_B - (m_1 + m_2 + m_{He}) g}{m_T}$$

$$m_{air} = \rho_{air} V_{air} = 1.16 \times 523.599 = 607.375\ kg$$

$$\therefore m_{He} = 86.7678\ kg$$

$$m_T = m_1 + m_2 + m_{He} = 226.7678\ kg$$

$$a = \frac{5958.345 - 226.7678 \times 9.81}{226.7678}$$

$$\therefore a = 16.465\ m/s^2$$

---

14 أوجد أقصى كمية للحمل بالكيلوجرام الذي يمكن أن يحمله البالون في المسألة السابقة ؟

$$(m_T + m)g = f_B$$

$$m_T + m = \frac{f_B}{g} \Rightarrow m = \frac{f_B}{g} - m_T$$

$$m = \frac{5958.345}{9.81} - 226.7678 = 380.6068\ kg$$

$$\therefore \hat{m} = 380.6068 + 70 + 70$$

$$\hat{m} = 520.6068\ kg$$

---

15 يمكن إستخدام البارومتر الأساسي كجهاز لقياس الإرتفاع في الطائرات ويفيد تقرير جهة العليك بالمطار أن القراءة

البارومترية هي 753mmHg بينما يسجل البارومتر بالطائرة قراءة 690mmHg . قدر إرتفاع الطائرة على مستوى سطح الأرض إذا كان متوسط كثافة الهواء هو $1.2 kg/m^3$ و عجلة الجاذبية هي $9.8 m/s^2$ ؟

"solution"

$$P_{down} = \rho g h_{down} = 13590 \times 9.8 \times 0.753 \times 10^{-3} = 100.286 kpa$$

$$P_{up} = \rho g h_{up} = 13590 \times 9.8 \times 0.69 \times 10^{-3} = 91.896 kpa$$

$$P_{down} - P_{up} = \rho g H$$

$$H = \frac{P_{down} - P_{up}}{\rho g}$$

$$H = \frac{100.286 - 91.896}{1.2 \times 9.81} = 0.7127 Km$$

$$\therefore H = 712.7 m$$

---

10) الخزان الأسفل منه واد إسطواني إرتفاعه 10m مملوء بالماء $\rho = 10^3 kg/m^3$ و الخزان الأعلى مملوء بزيت وزنه النوعي

0.85 . أوجد الفرق في الضغط بين أعلى وأسفل الإسطوانة؟

"Solution"

$$\rho = \rho_r \rho_{H_2O} = 0.85 \times 10^3 = 850\ kg/m^3$$

$$\Delta P = P_{down} - P_{up} = (\rho g h)_{H_2O} + (\rho g h)_{oil}$$

$$\Delta P = 10^3 \times 9.81 \times 5 + 850 \times 9.81 \times 5$$

$$\Delta P = 90742.5\ pa$$

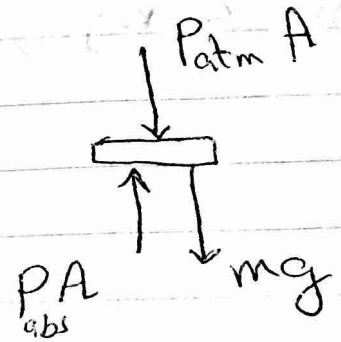
$$\therefore \Delta P = 90.7425\ kpa$$

---

14 القدور الكاتمة تطبخ أسرع من القدور العادية عن طريق الحفاظ على ضغط أعلى ودرجة حرارة أعلى داخلها. وغطاء القدر الكاتم مقفل بإحكام ولا يسمح البخار الخروج إلا من فتحة عند منتصف الغطاء. وتوجد قطعة ذات كتلة معينة تعرف بمسمار المراقبة تجلس فوق الفتحة لمنع البخار من الخروج حتى تتغلب قوة الضغط على وزنها. ويمنع الخروج الدوري للبخار بهذا الأسلوب أي إرتفاع خطير للضغط ويحافظ على الضغط الداخلي عند قيمة ثابتة.

أوجد كتلة صنبور المراقبة لقدر كاتم يعمل عند ضغط مقاس عند 100kPa ومساحة قطاع فتحته $4mm^2$ أوجد ضغط غاز P إذا كان الضغط الجوي 101kPa. وأرسم خارطة الجسم الحر لصنبور المراقبة؟

"Solution"



$$+\uparrow \Sigma f = 0$$

$$P_{abs} = P_g + P_{atm} = 201 kPa$$

$$P_{abs}A - P_{atm}A - mg = 0$$

$$mg = (P_{abs} - P_{atm})A$$

$$\therefore m = \frac{A}{g}(P_{abs} - P_{atm})$$

$$m = \frac{4\times10^{-6}}{9.81}(201 - 101) = 0.04077\ kg$$

$$\therefore m = 40.77\ g$$

---

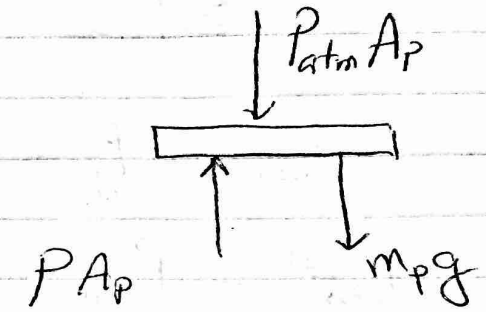
١٤ منظومة إسطوانة ومكبس رأسية تحتوي على غاز. إذا كانت كتلة المكبس 60kg ومساحة مقطعه $0.04m^2$ والضغط الجوي

ⓐ إحسب ضغط الغاز داخل الإسطوانة: 0.97bar

ⓑ إذا إنتقلت كمية من الحرارة إلى الغاز حتى تضاعف الحجم.
هل تتوقع أن يتغير الضغط داخل الإسطوانة؟

"solution"

$m_p = 60\,kg$, $A_p = 0.04\,m^2$, $P_{atm} = 97\,kPa$



$+\uparrow \Sigma f = 0$

$$PA_p - P_{atm}A_p - m_pg = 0$$ ⓐ

$$PA_p = P_{atm}A_p + m_pg$$

$$\therefore P = P_{atm} + \frac{m_pg}{A_p}$$

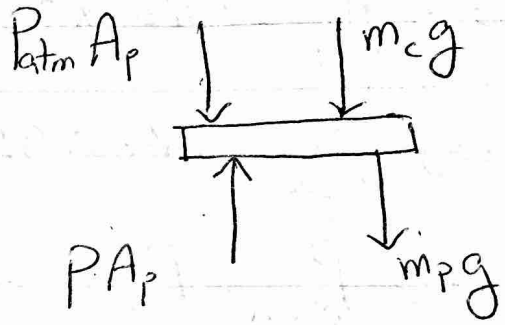
$$P = 97 + \frac{60 \times 9.81}{0.04} \times 10^{-3} = 111.715\,kPa$$

ⓑ لا يتغير الضغط. لأنه لم يتغير أي شئ على مكبس الجسم الحر.

9 رافعة هيدروليكية لورشة تصليح سيارات قطر إسطوانتها 0.25 m
ماهو الضغط الذي يجب أن يصل إليه ضغط المائع الهيدروليكي
لكي يرفع 50kg كتلة المكبس وسيارة كتلتها 750kg ؟ خذ عجلة
الجاذبية الأرضية $g = 9.81\ m/s^2$ ، الضغط الجوي $P_{atm} = 101\ kPa$

"Solution"

$D_p = 0.25m$, $m_p = 50kg$, $m_c = 750\ kg$, $g = 9.81\ m/s^2$



$$A_p = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4}(0.25)^2 = 0.049087\ m^2$$

$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

$$PA_p - P_{atm}A_p - m_c g - m_p g = 0$$

$$PA_p = P_{atm}A_p + m_c g + m_p g$$

$$P = P_{atm} + \frac{(m_c + m_p)g}{A_p}$$

$$P = 101 + \frac{(750+50)\times 9.81}{0.049087} \times 10^{-3} = 260.878\ kPa$$

---

20 يمكن إستخدام البارومتر الأساسي لقياس إرتفاع مبنى. فإذا كانت القراءة البارومترية عند قمة المبنى وقاعدته هي 730mmHg و 755mmHg على الترتيب، أوجد إرتفاع المبنى. خذ كثافتي الهواء والزئبق على أنهما $1.18 kg/m^3$ و $13600 kg/m^3$ على الترتيب؟

«Solution»

$$P_{up} = \rho g h_{up} = 13600 \times 9.81 \times 0.73 \times 10^{-3} = 97.39368 \text{ kpa}$$

$$P_{down} = \rho g h_{down} = 13600 \times 9.81 \times 0.755 \times 10^{-3} = 100.729081 \text{ kpa}$$

$$\therefore P_{down} - P_{up} = \rho g H$$

$$\therefore H = \frac{P_{down} - P_{up}}{\rho g}$$

$$H = \frac{100.729081 - 97.39368}{1.18 \times 9.81} = 0.2881 \text{ Km}$$

$$\therefore H = 288.1 \text{ m}$$

---

21 كثافة الهواء الجوي تساوي $1.13 kg/m^3$ والتي يمكن إعتبارها ثابتة. ما مقدار الضغط الذي يحدث عند إرتفاع 2000m فوق سطح

الأرض حيث الضغط الجوي 101kPa ؟

« solution »

$$\therefore P_{down} - P_{up} = \rho g h$$

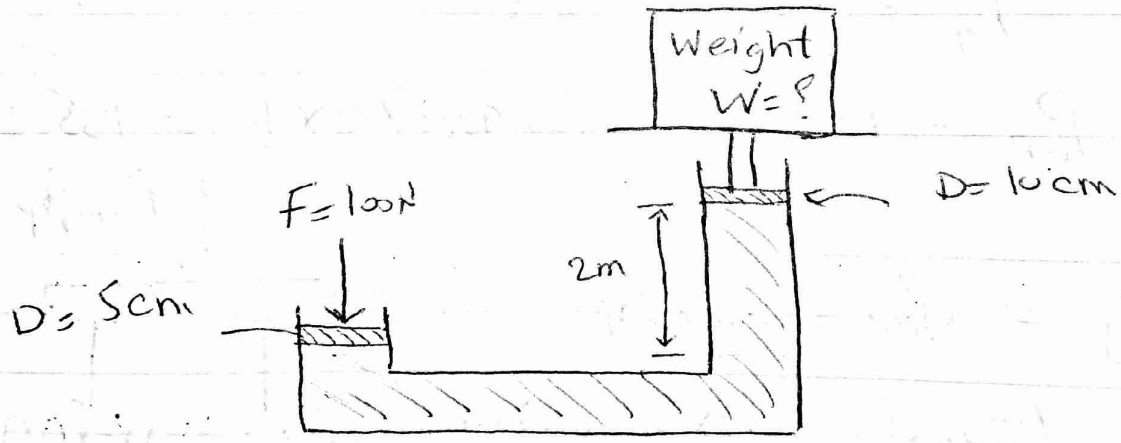
$$P_{down} = P_{atm} = 101\,kPa$$

$$P_{up} = P_{atm} - \rho g h$$

$$P_{up} = 101 - 1.15 \times 9.81 \times 2000 \times \frac{1}{1000} = 78.437\,kPa$$

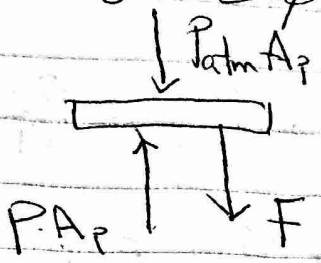
---

22 رافعة هيدروليكية تستخدم لرفع كتلة ما عن طريق تسليط قوة مقدارها 100N على المكبس الصغير الذي قطره 5cm. إحسب وزن هذه الكتلة. أفرض أن كثافة المائع $850\,kg/m^3$ ؟



« solution »

يكون الضغط المسلط على المكبس الصغير ناتج من الضغط الجوي و ضغط القوة المسلطة و ضغط المائع نفسه



وتكون مساحة المكبس الصغير كالتالي :

$$A_p = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0.05)^2 = 1.9635 \times 10^{-3}\ m^2$$

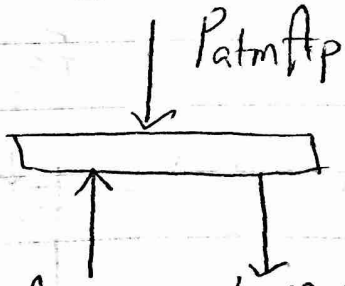
$$+\uparrow \Sigma F = 0$$

$$\Rightarrow P = P_{atm} + \frac{F}{A_p} = 101 + \frac{100}{1.9635 \times 10^{-3}} \times 10^{-3}$$

$$P = 151.93\ KPa = P_{down}$$

$$P_{up} = P_{down} - \rho g h$$

$$P_{up} = 151.93 - 850 \times 9.81 \times 2 \times 10^{-3} = 135.252\ KPa$$



$$W = mg = (P_{up} - P_{atm}) A_p$$

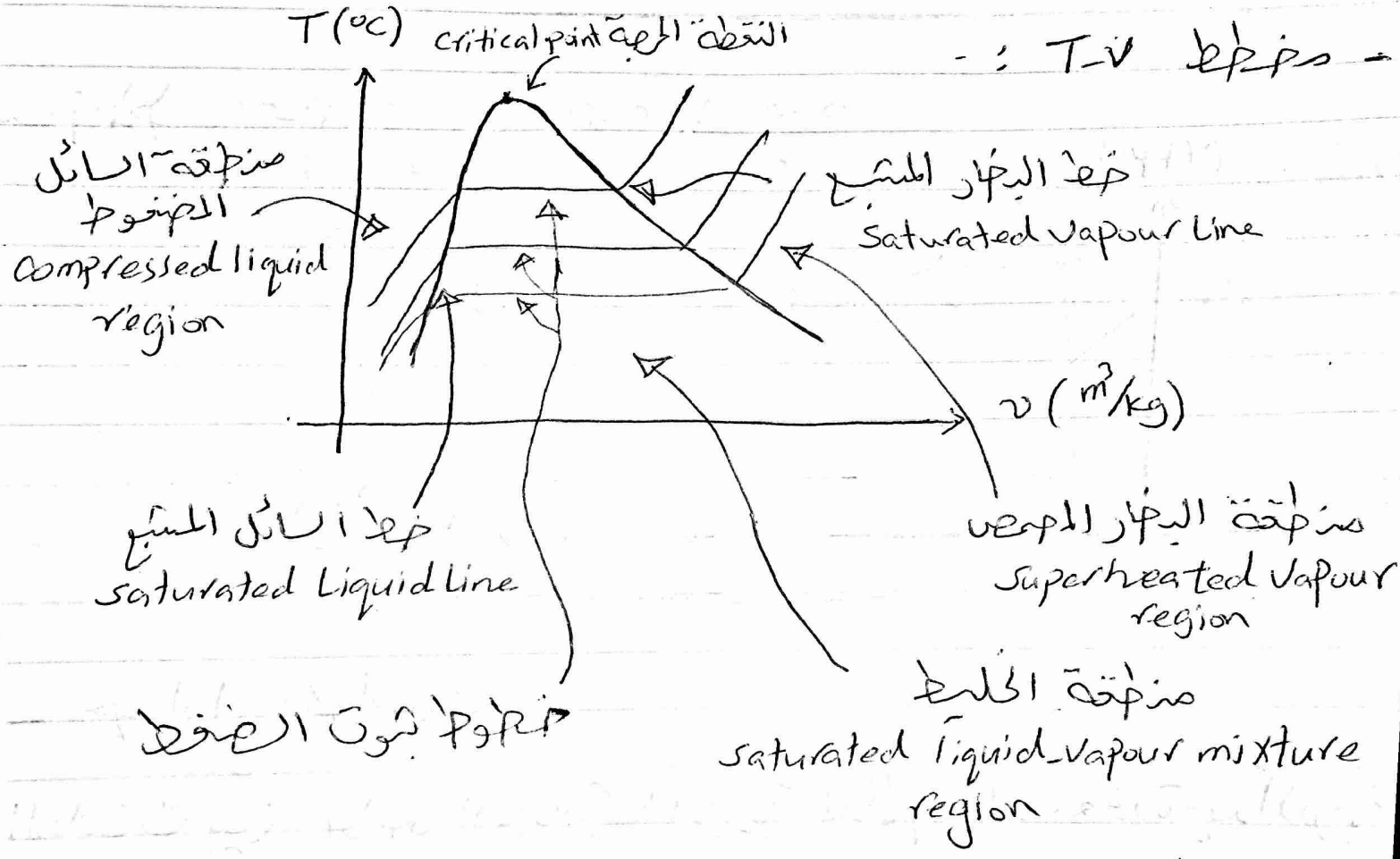
$$W = (135.252 - 101) \times \frac{\pi}{4} (0.1)^2 \times 10^{3}$$

$$W = 0.269\ KN \Rightarrow W = 269\ N$$

* المادة النقية :-

هي المادة التي تحافظ على تركيبها الكيميائي في جميع الحالات مثل الماء والصوديوم والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون وغيرها. ويمكن أن تكون المادة النقية عنصر واحد أو مركب أو مخلوط.

- مخطط T-v :-

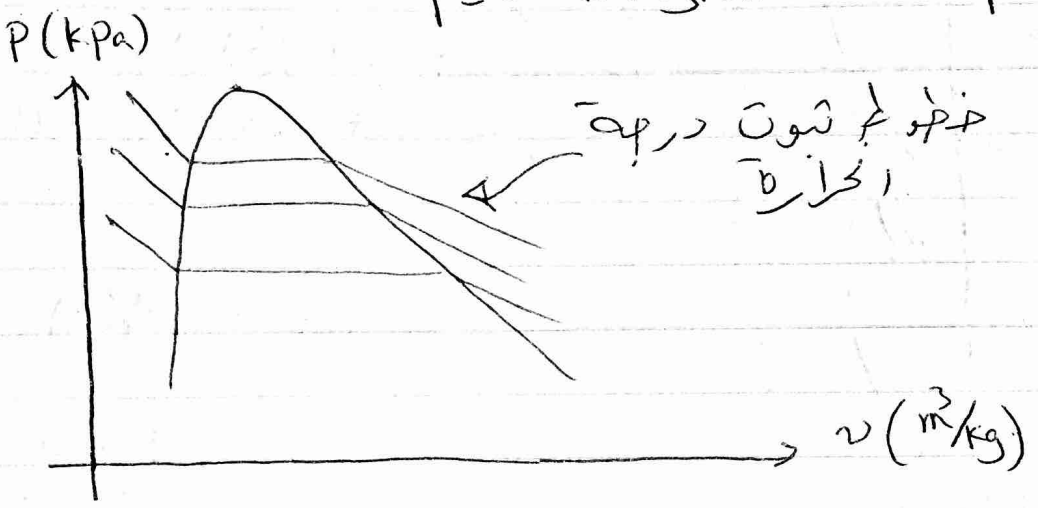


- يوجد لأي خاصية تقع على خط السائل المشبع الحرف f مثلاً الحجم النوعي v_f و الطاقة الداخلية u_f. بينما يوجد لخاصية التي تقع على خط البخار المشبع الحرف g مثل: v_g

كما تسمى درجة الحرارة أو الضغط في منطقة الخليط بدرجة حرارة أو ضغط التشبع (T_{sat}) أو (P_{sat}).

ويطلق على الضغط الواقع على النقطة الحرجة بالضغط الحرج (P_{cr}) ودرجة الحرارة بالدرجة الحرجة (T_{cr}).

مخطط P-v : P-v Diagram



- جداول الخواص :-

العلاقات بين خواص الديناميكا الحرارية لمعظم المواد معقدة جداً لدرجة يصعب التعبير عنها بمعادلات بسيطة. لذا غالباً ما توضع الخواص في صيغة مجدولة. فيمكن قياس بعض الخواص بسهولة، ولكن لا يتسنى قياس الأخرى بشكل مباشر مما يتطلب حسابها باستخدام

علاقات تربطها بالخواص المقاسة.

* تحديد حالة المادة النقية:

لتحديد حالة أي مادة نقية نحتاج فقط لمعرفة خاصيتين وعندئذ بواسطة الجداول نحدد الحالة ونستخلص إيجاد أي خواص أخرى.

مثل (P & v ، T & v ، P & u ، T & u).....

- ملاحظة:

عندما يكون معلوم لدينا الضغط ودرجة الحرارة يمكننا تحديد الحالة ولكن لا يمكننا معرفة الخواص الأخرى إذا كانت المادة (غليظ) لذا يجب معرفة (أو نعطى) خاصية أخرى. يتسنى لنا من خلالها معرفة الخواص الأخرى.

---

* الإنثالبيا (enthalpy):

$$H = U + PV \qquad (kJ)$$

$$h = \frac{H}{m} = u + Pv \qquad (kJ/kg)$$

ملاحظة :-

عندما تكون المادة النقية خليط. تسمى النسبة بين كتلة البخار إلى الكتلة الكلية بكسر الجفاف.

$$X = \frac{m_{vapour}}{m_{total}}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} \text{ or } \frac{u - u_f}{u_g - u_f} \text{ or } \frac{h - h_f}{h_g - h_f} \dots$$

$$v_{fg} = v_g - v_f \,,\quad u_{fg} = u_g - u_f \,, \dots$$

$$0 \leq x \leq 1$$

- ملاحظة :-

كسر الجفاف يكون غير معرف في أي منطقة عدا منطقة الخليط وتكون قيمته فيها بين الصفر والواحد.

وتكون ($x=0$) في حالة السائل المشبع و ($x=1$) في حالة البخار المشبع.

ولإيجاد أي خاصية في منطقة الخليط تستعمل المعادلة التالية:

$$v = v_f + x v_{fg}$$

$$u = u_f + x u_{fg}$$

$$h = h_f + x u_{fg}$$

$$\vdots$$

ملاحظة :-

عندما تكون المادة في منطقة السائل المضغوط فإنه يوجد تقريب شائع في حالة غياب معطيات عن السائل المضغوط وهذا التقريب هو معاملة هذا السائل كسائل مشبع عند درجة الحرارة المعطاة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن السائل المضغوط يعتمد على درجة الحرارة بشكل أكبر من إعتماده على الضغط.

$$u = u_{sat@T}$$

$$v = v_{sat@T}$$

$$h = h_{sat@T}$$

* معادلة الغاز المثالي :-

تعرف أي معادلة تربط بين الضغط ودرجة الحرارة والحجم النوعي للمادة بمعادلة الحال (equation of state).

وتكون معادلة الحال للغاز المثالي كالتالي :

$$\boxed{Pv = RT}$$

$R \Rightarrow$ gas constant ثابت الغاز $\quad (KJ/kg.K)$

ويختلف ثابت الغاز من مادة إلى أخرى حيث أنه يعتمد على الوزن الجزيئي للمادة

$$\boxed{R = \frac{\overline{R}}{M}}$$

حيث $\overline{R}$ هو الثابت العالمي للغاز

$$\overline{R} = 8.314 \ (KJ/Kmol.K)$$

- وإذا أردنا أن نقوم بكتابة المعادلة السابقة وربطها بمعادلة الحال للغاز المثالي فإنه :

$$Pv = \frac{\overline{R}}{M} T$$

وحيث $n = \frac{m}{M}$ و $v = \frac{V}{m}$

فإن

$$\boxed{PV = n\bar{R}T}$$

$P \Rightarrow$ الضغط (kPa)

$V \Rightarrow$ الحجم (m^3)

$n \Rightarrow$ عدد المولات $(mole)$

$T \Rightarrow$ درجة الحرارة (K)

وتوجد صورة أخرى لمعادلة الغاز المثالي هي كالتالي :

$$\boxed{PV = mRT}$$

- ملاحظة: في حالة المنظومة المغلقة فإنه كما نعلم أن الكتلة ثابتة $(m=c)$ وعليه فإن

$$\frac{PV}{T} = mR \Rightarrow \frac{PV}{T} = C$$

$$\therefore \boxed{\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}}$$

ملاحظة هامة :- لا تستخدم معادلة الغاز المثالي إلا مع الغاز المثالي أو المادة التي يمكن تحاملتها كغاز مثالي. لذلك يجب التأكد من نوع المادة قبل أي شيء.

* معامل الإنضغاطية (Compressibility factor) :-

تنحرف الغازات عن سلوك الغاز المثالي كثيراً عند الحالات قرب نقطة التشبع وقرب النقطة الحرجة. ويمكن أخذ هذا الإنحراف عن سلوك الغاز المثالي في الإعتبار بدقة عن طريق تقديم معامل تصحيح يسمى معامل الإنضغاطية Z.

$$Z = \frac{P\nu}{RT}$$

$$Z = \frac{\nu_{actual}}{\nu_{ideal}}$$

$$P\nu = ZRT$$

وتكون قيمة ($Z=1$) في الغاز المثالي، أما في الغازات الحقيقية ($Z \neq 1$).

الضغط المخفض (P_r) ودرجة الحرارة المخفضة (T_r) والحجم النوعي المخفض (ν_r) :-

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} \quad , \quad T_r = \frac{T}{T_{cr}} \quad , \quad v_r = \frac{v}{v_{cr}}$$

- وقد وجد أن معامل الإنضغاطية Z متساوياً تقريباً لكل الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة المخفضين. وهذا ما يعرف بمبدأ الحالات المتناظرة (principle of corresponding states).

* ملاحظة:

- يوجد مخطط يمكن من خلاله معرفة معامل الإنضغاطية (Z) وذلك بمعلومية الضغط المخفض (P_r) ودرجة الحرارة المخفضة (T_r)

- تسلك الغازات عند الضغوط المخفضة جداً ($P_r << 1$) سلوك الغاز المثالي بغض النظر عن درجة الحرارة.

- تسلك الغازات سلوك الغاز المثالي, إذا كانت ($T_r > 1$) بشرط (P_r) لا تكون أكبر بكثير من 1.

إنحراف الغاز عن سلوك الغاز المثالي أكبر ما يمكن قرب النقطة الحرجة.

«مسائل متنوعة»

11 إذا كان الضغط الجوي في موقع بيساوي 83.4kpa ، أوجد درجة الحرارة التي يغلي عندها الماء في وعاء مفتوح ؟

«Solution»

$P_{atm} = 83.4\,kPa = 0.834\,bar$

المطلوب هو إيجاد درجة حرارة التشبع عند هذا الضغط

from Table A3:-

0.8 bar	93.5°C
0.834 bar	T_{sat}
0.9 bar	96.71°C

$$\frac{0.9 - 0.8}{0.834 - 0.8} = \frac{96.71 - 93.5}{T_{sat} - 93.5}$$

$$\frac{0.1}{0.034} = \frac{3.21}{T_{sat} - 93.5}$$

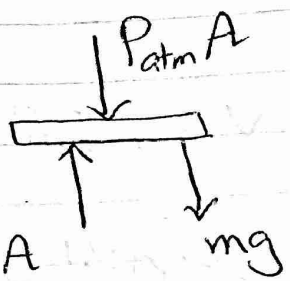
$$(T_{sat} - 93.5) = \frac{0.034 \times 3.21}{0.1}$$

$$T_{sat} = 94.591°C$$

2 حلة طهي قطرها الداخلي 20cm مملوءة بالماء ومغطاة بغطاء وزنه 4kg ، فإذا كان الضغط الجوي الخارجي 101kPa ، أوجد درجة الحرارة التي يبدأ فيها غليان الماء عند التسخين ؟

« solution »

$D = 0.2m$, $m = 4kg$, $P_{atm} = 101kPa$



$$P = P_{atm} + \frac{mg}{A}$$

$$P = 101 + \frac{4 \times 9.81}{\frac{\pi}{4}(0.2)^2} \times 10^{-3} = 102.249\ kPa$$

$$\therefore P = 0.102249\ bar \leftarrow 1.0225\ bar$$

from Table A3 :-

0.1 bar	45.81°C
0.102249 bar	T_{sat}
0.2 bar	60.06°C

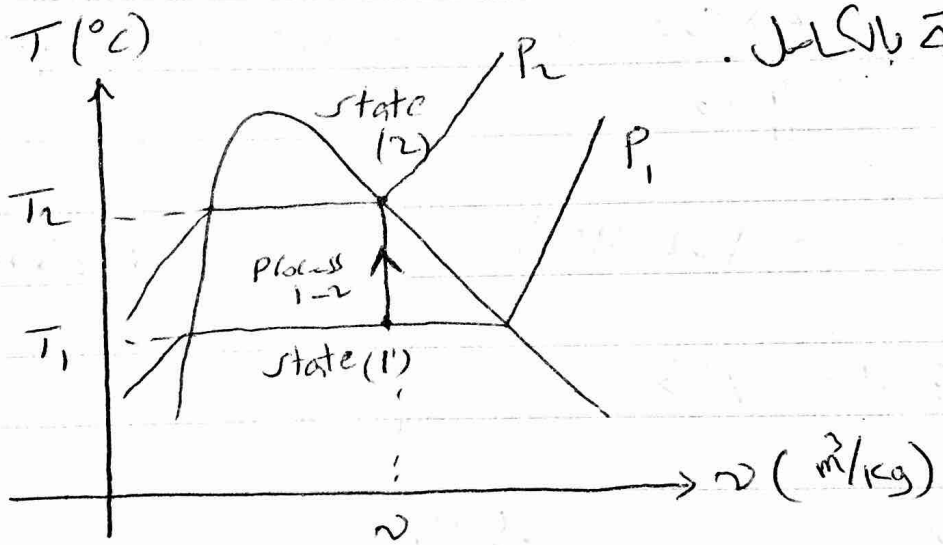
$$\therefore T_{sat} \simeq 45.81°C \leftarrow T_{sat} = 99.98°C$$

3 خزان حجمه $2.5 m^3$ ويحتوي على 5kg من خليط مشبع للسائل والبخار من الماء عند $75°C$ فإذا بدأ التسخين للماء ببطء، أوجد درجة الحرارة التي يتبخر فيها الماء داخل الخزان بالكامل.
وضح العملية على خارطة T-v بدلالة خطي التشبع؟

"Solution"

$V = 2.5 m^3$, $m = 5 kg$, $T_{sat} = 75°C$

في حالة الخزان الجاسئ لن يتغير الحجم. أي أن الحجم سيبقى ثابتاً خلال العملية بالكامل.



$$v = \frac{V}{m} = \frac{2.5}{5} = 0.5 \ m^3/kg$$

$$v = v_g = 0.5 \ m^3/kg$$

from Table A2:-

$0.5089\ \frac{m^3}{kg}$ $140\ ^\circ C$

$0.5\ m^3/kg$ T_{sat}

$0.3928\ \frac{m^3}{kg}$ $150^\circ C$

$$\therefore T_{sat} = \frac{0.3928 - 0.5089}{150 - 140}(0.5 - 0.5089) + 140$$

$$T_{sat} \simeq 140\ ^\circ C$$

---

4 وعاء حجمه $0.5m^3$ يحتوي على 10kg من مادة التبريد 134a عند $-20^\circ C$. أوجد ① الضغط ② الطاقة الداخلية الكلية ③ الحجم الذي يشغله طور السائل.

«solution»

$V = 0.5m^3$, $m = 10kg$, $T = -20^\circ C$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.5}{10} = 0.05\ m^3/kg$$

from Table A 10:-

at $T = -20^\circ C \Rightarrow v_f = 0.7361 \times 10^{-3}\ m^3/kg$

$v_g = 0.1464\ m^3/kg$

$\therefore v_f < v < v_g \Rightarrow$ (Mixture) فيه بخار

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.05 - 0.7361 \times 10^{-3}}{0.1464 - 0.7361 \times 10^{-3}} = 0.3382$$

$$\therefore x = \frac{m}{m_T} \Rightarrow m_g = x m_T$$

$$m_g = 0.3382 \times 10 = 3.382 \text{ kg}$$

$$m_f = m_T - m_g = 6.618 \text{ kg}$$

$$\therefore V_f = m_f v_f = 6.618 \times 0.7361 \times 10^{-3}$$

$$V_f = 4.8715 \times 10^{-3} m^3 = 4.8715 \text{ L}$$

$$P = P_{sat} = 1.3299 \text{ bar} = 132.99 \text{ kPa}$$

$$u_f = 24.17 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \qquad u_g = 215.84 \text{ KJ/kg}$$

$$u = u_f + x(u_g - u_f)$$

$$u = 24.17 + 0.3382(215.84 - 24.17)$$

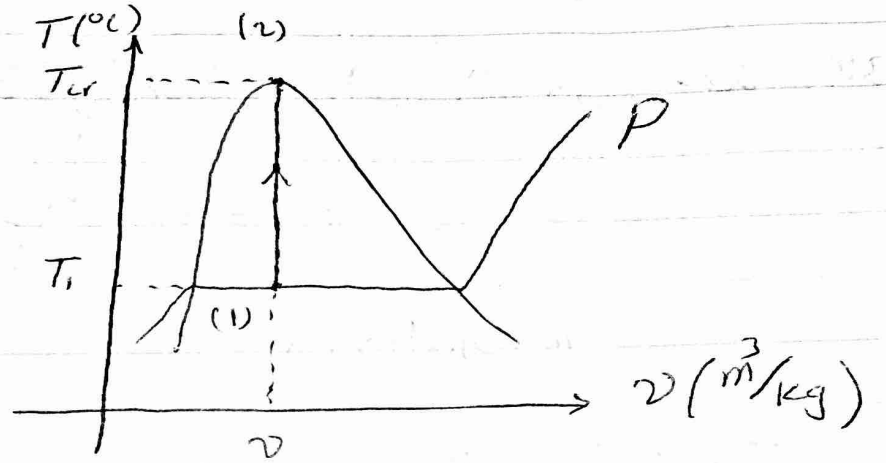
$$u = 88.99 \text{ KJ/kg}$$

$$\therefore U = mu = 889.93 \text{ KJ}$$

5 وعاء جاسئ حجمه $0.5m^3$ يحتوي مبدئياً على مخلوط مشبع من سائل وبخار الماء عند $100°C$. سخن الماء حتى وصل إلى الحالة الحرجة. أوجد كتلة الماء السائل والحجم الذي يشغله السائل في الحالة الأولى؟

«solution»

$V = 0.5m^3$, $T = T_{sat} = 100°C$



$$v = v_{cr} = 0.003155 \frac{m^3}{kg}$$

لاحظ أنه في الحالة الحرجة يكون $\boxed{v_f = v_g}$

From Table A2:-

at state (1) $\Rightarrow$ $v_f = 1.0435 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.673 \frac{m^3}{kg}$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.003155 - 1.0435 \times 10^{-3}}{1.673 - 1.0435 \times 10^{-3}} = 1.2623 \times 10^{-3}$$

$\because x = \frac{m_g}{m_T} \Rightarrow m_g = x m_T$

$$m_T = \frac{V}{v} = \frac{0.5}{0.00455} = 158.4786\ kg$$

$$\therefore m_g = 0.2\ kg \Rightarrow m_f = 158.4786 - 0.2$$

$$\therefore m_f = 158.2786\ kg$$

$$V_f = m_f v_f = 0.165\ m^3$$

---

6) بالون كروي قطره 6m معلوء بغاز الهيليوم عند 20°c و 200kPa، أوجد عدد المولات وكتلة غاز الهيليوم داخل البالون. خذ $T_{cr} = 5.3K$ و $R = 2.0769 \frac{kJ}{kg.K}$ ؟ $P_{cr} = 0.23MPa$

«solution»

$D = 6m$, $T = 20°c$, $P = 200kPa$

$$T_r = \frac{T}{T_{cr}} = \frac{20+273.15}{5.3} = \frac{293.15}{5.3} = 55.3113$$

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} = \frac{200}{230} = 0.8696$$

$$\therefore (T_r \gg 1) \ \& \ (P_r < 1)$$

يمكن معاملة الغاز كغاز مثالي

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi (3)^3 = 113.097 m^3$$

$$\therefore PV = mRT$$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{200 \times 113.097}{2.0769 \times 293.15} = 37.15 kg$$

$$\therefore n = \frac{m}{M} = \frac{37.15}{4.003} = 9.28 kmol$$

$$\therefore n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = 5.589 \times 10^{24} \text{ ذرة}$$

---

7 هواء داخل إطار سيارة حجمه $0.015 m^3$ عند $30°C$ و $150kPa$ (gauge).
أوجد كمية الهواء اللازمة لرفع الضغط إلى القيمة التي يوصى بها وهي $200kPa$ (gauge). أفرض أن الضغط الجوي يساوي $98kPa$
وأن درجة الحرارة والحجم يبقيا ثابتين ؟

« solution »

$V = 0.015 m^3$, $T = 30°C = 303.15 K$, $P_1 = 150 + 98 = 248 kPa$

$P_2 = 200 + 98 = 298 kPa$, $R = 0.287 \frac{kJ}{kg.K}$

From state (1) :- $P_1 V = m_1 RT$

$$m_1 = \frac{P_1 V}{RT} = \frac{248 \times 0.015}{0.287 \times 303.15} = 0.04276 kg$$

From state (2) :- $P_2V = m_2RT$

$$m_2 = \frac{P_2V}{RT} = \frac{298 \times 0.015}{0.287 \times 303.15} = 0.051377\ kg$$

∴ تكون كمية الهواء اللازمة لرفع الضغط للقيمة المطلوبة بمقدار :

$$m = m_2 - m_1 = 0.0086\ kg$$

---

8. يحتوي خزان جاسئ على 10kg من الهواء عند 150kpa و 20°C . فإذا أضيف هواء إلى الخزان حتى ارتفع الضغط ودرجة الحرارة إلى 250kpa و 30°C على الترتيب ، أوجد كمية الهواء المضافة إلى الخزان ؟

«solution»

$m_1 = 10\ kg$, $P_1 = 150kpa$, $T_1 = 20°C$, $P_2 = 250kpa$, $T_2 = 30°C$

From state (1) :- $P_1V = m_1RT_1$

$$V = \frac{m_1RT_1}{P_1} = \frac{10 \times 0.287 \times (20+273.15)}{150}$$

$$V = 5.60894\ m^3$$

From state (2) :- $P_2V = m_2RT_2$

$$m_2 = \frac{P_2V}{RT_2} = \frac{250 \times 5.60894}{0.287 \times (30+273.15)} = 16.1169\ kg$$

∴ كمية الهواء المضافة إلى الخزان هو $m = 6.11691kg$

---

[9] وصل خزان حجمه $1m^3$ ومحتوياً على هواء عند 500kpa و 25°C عن طريق صمام إلى خزان آخر محتوياً على 5kg من الهواء عند 200kpa و 35°C. فإذا فتح الصمام وسمح للمنظومة كلها بالوصول إلى حالة توازن حراري في محيط محاور عند 20°C، أوجد حجم الخزان الثاني، وضغط التوازن النهائي للهواء ؟

«solution»

$V_1 = 1m^3$, $P_1 = 500kpa$, $T_1 = 25°C$, $m_2 = 5kg$, $P_2 = 200kpa$

$T_2 = 35°C$, $T = 20°C$

بعد حالة التوازن الحراري يكون :

$$PV_t = m_t R T$$

ومن الخزان (1) :-

$$P_1 V_1 = m_1 R T_1$$

$$m_1 = \frac{500 \times 1}{0.287 \times (25+273.15)} = 5.84323\,kg$$

ومن الخزان (2) :-

$$P_2 V_2 = m_2 R T_2$$

$$V_2 = \frac{5 \times 0.287 \times (35+273.15)}{200} = 2.211\,m^3$$

∴ ضغط التوازن يكون :

$$P = \frac{m_T R T}{V_T}$$

$$P = \frac{(5 + 5.84323) \times 0.287 \times (20 + 273.15)}{(1 + 2.211)}$$

$$P = 284.11 \text{ kPa}$$

---

[15] أوجد الحجم النوعي لغاز النيتروجين عند 10Mpa و 150K مستخدماً معادلة الحال للغاز المثالي وأيضاً بإستخدام خارطة الإنضغاطية

«Solution»

$T_{cr} = 126.2K$, $P_{cr} = 3.39 MPa$, $R = 0.2968 \text{ kJ/kg.K}$

$P = 10MPa$, $T = 150K$

أولاً : بإستخدام معادلة الغاز المثالي :-

$$\because Pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{P}$$

$$v = \frac{0.2968 \times 150}{10 \times 10^3} = 0.004452 \text{ m}^3/\text{kg}$$

ثانياً : بإستخدام خارطة الإنضغاطية :-

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} = 2.95 \quad , \quad T_r = \frac{T}{T_{cr}} = 1.19$$

From the curve $Z \simeq 0.54$

$$\therefore pv = ZRT$$

$$v = \frac{ZRT}{P} = 0.002404 \ m^3/kg$$

---

[11] خزان حجمه $0.01677 m^3$ يحتوي على 1kg من مادة التبريد 134a عند $110°C$. أوجد ضغط مادة التبريد مستخدماً ⓐ معادلة الحالة للغاز المثالي ⓑ خارطة الإنضغاطية ؟

«solution»

$V = 0.01677 m^3$, $m = 1kg$, $T = 110°C$, $R = 0.08149 \frac{KJ}{Kg.K}$

From Table (A1):- $P_{cr} = 40.7 bar$, $T_{cr} = 374 K$

أولاً بإستخدام معادلة الغاز المثالي :-

$$P = \frac{mRT}{V} = \frac{1 \times 0.08149 \times (110+273.15)}{0.01677}$$

$$\therefore P = 1861.83 \ KPa = 1.86183 \ MPa$$

ثانياً بإستعمال خارطة الإنضغاطية :-

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} \Rightarrow P = P_r P_{cr}$$

نحتاج لمعرفة قيمة معامل الإنضغاطية Z ومن الخارطة نتحصل على P_r ومنها على P.

---

12 وصل خزان سعته $2.5m^3$ بجهاز لقياس ضغط غاز الأكسجين داخل الخزان فكانت القراءة 5bar في موقع الضغط الجوي فيه 97kpa مفترضاً أن الغاز يسلك سلوك الغاز المثالي. فما هي كتلة الأكسجين إذا كانت درجة حرارة الغاز 28°c ؟

«solution»

$V = 2.5m^3$, $P_g = 5bar = 500kpa$, $P_{atm} = 97kPa$, $T = 28°C$

$$\therefore P_{abs}V = mRT \Rightarrow m = \frac{P_{abs}V}{RT}$$

$$m = \frac{(500+97) \times 2.5}{\frac{8.314}{32} \times (28+273.15)} = 19.075\ kg$$

---

13 خزان A سعته $1m^3$ يحتوي على هواء عند 25°c و 500kpa متصل بخزان آخر B يحتوي على 5kg من الهواء عند 35°c و 200kpa. إذا فتح الصمام وسمح للهواء أن يصل إلى حالة توازن مع المحيط والذي هو عند 20°c ، احسب بافتراض أن الهواء في الخزانين يسلك

سلوك الغاز المثالي : ① حجم الخزان B ② ضغط التوازن النهائي ؟

«solution»

$V_A = 1m^3$, $T_A = 25°C = 298.15\,K$, $P_A = 500kpa$

$m_B = 5kg$, $T_B = 35°C$, $P_B = 200kpa$, $T = 20°C$

$\therefore P_B V_B = m_B R T_B$

$$V_B = \frac{m_B R T_B}{P_B} = \frac{5 \times 0.287 \times (35+273.15)}{200}$$

$$V_B = 2.211\,m^3$$

عند حالة التوازن يكون :-

$$P V_T = m_T R T$$

$m_T = m_A + m_B$ & $V_T = V_A + V_B$

$$m_A = \frac{P_A V_A}{R T_A} = \frac{500 \times 1}{0.287 \times 298.15} = 5.843\ kg$$

$m_T = 5.843 + 5 = 10.843\ kg$, $V_T = 3.211\,m^3$

$$\therefore P = \frac{10.843 \times 0.287 \times (20+273.15)}{3.211} = 284.11\,kpa$$

14 منظومة إسطوانة ومكبس تحتوي في الحالة الإبتدائية على ماء عند 3Mpa و 300°C. يبرّد الماء عند ضغط ثابت حتى وصل إلى درجة حرارة 200°C ثم ضغط الماء في عملية (isothermal) حتى وصل الضغط النهائي إلى 2.5Mpa. إرسم المخطط النوعي v في الحالات الثلاثة وضح العمليات على مخطط T-v و P-v ؟

«Solution»

$P_1 = 3Mpa$, $T_1 = 300°C$, $T_2 = 200°C$, $P_3 = 2.5Mpa$

$V_1 = V_2$, $T_2 = T_3 = 200°C$.

From Table (A2):

at $T = 300°C \Rightarrow P_{sat} = 85.81\ bar = 8.581\ Mpa$

$\therefore P < P_{sat} \Rightarrow \therefore$ superheated Vapour

From Table (A4):

at $P = 3Mpa$, we have $T = 280°C$ & $320°C$

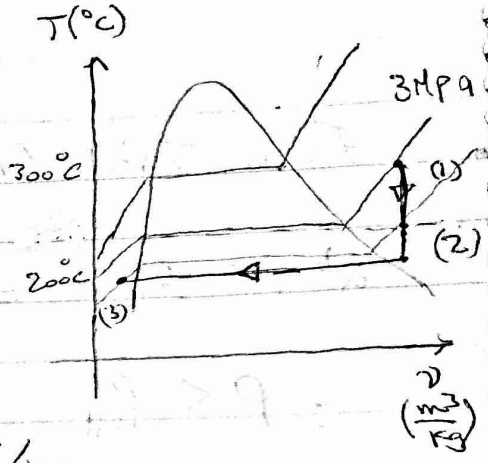
then we use interpolation.

280°C 0.0771 m³/kg

300°C v_1

320°C 0.0850 m³/kg

$$\frac{v_1 - 0.0771}{0.0850 - 0.0771} = \frac{300 - 280}{320 - 280}$$



$\therefore v_1 = 0.08105 \text{ m}^3/\text{kg}$

$\therefore v_2 = v_1 = 0.08105 \text{ m}^3/\text{kg}$

$T_2 = 200°C$, $v_2 = 0.08105 \text{ m}^3/\text{kg}$

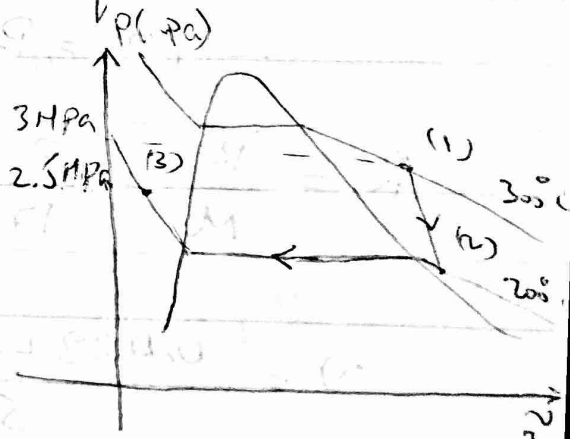
$P_3 = 2.5 \text{ MPa}$, $T_3 = 200°C$

from, Table (A2):

at $T = 200°C \Rightarrow P_{sat} = 15.54 \text{ bar} = 1.554 \text{ MPa}$

$\because P_3 > P_{sat} \Rightarrow$ Compressed Liquid

from Table (A5):



at $P = 2.5 \text{ MPa}$ & $T = 200°C$

$v_3 = 0.0011555 \text{ m}^3/\text{kg}$

---

15 أوجد الحجم النوعي للأمونيا عند $T = 40°C$ و $P = 0.5 MPa$ ؟

① باستعمال الجداول ② معادلة الغاز المثالي ③ مخطط الانضغاطية

«Solution»

أولاً: باستعمال الجداول :-

From Table (A13) :-

at $T = 40°C \Rightarrow P_{sat} = 15.549 \text{ bar} = 1.5549 \text{ MPa}$

$\because P < P_{sat} \Rightarrow$ superheated Vapor

From Table (A15) :-

at $P = 0.5 MPa$ & $T = 40°C$

$$v = 0.29227 \ m^3/kg$$

ثانياً: باستخدام معادلة الغاز المثالي :-

$$\because Pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{P}$$

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{17.03} = 0.4882 \ KJ/kg.K$$

$$v = \frac{0.4882 \times (40 + 273.15)}{500} = 0.3058 \ m^3/kg$$

ثالثاً : باستعمال مخطط الإنضغاطية :-

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} = \frac{5}{112.8} \quad , \quad T_r = \frac{T}{T_{cr}} = \frac{313.15}{406}$$

$$P_r = 0.0443 \quad , \quad T_r = 0.7713$$

$$\therefore Z \simeq 0.98$$

$$\therefore v = \frac{ZRT}{P} = 0.98 \times 0.3058 = 0.2997 \ m^3/kg$$

---

16 بخار ماء حجمه النوعي $0.02 \ m^3/kg$ عند درجة حرارة $400°C$. أوجد ضغط هذا البخار عند هذه الحالة باستخدام ① معادلة الغاز المثالي ② جداول البخار . إستخدم المعطيات التالية بالنسبة للبخار ؛ ثابت الغاز $R = 0.4615 \ KJ/kg.K$ ودرجة الحرارة عند النقطة الحرجة $T_{cr} = 647.3K$ والضغط عند النقطة الحرجة $P_{cr} = 22.09MPa$ ؟

« solution »

$$v = 0.02 \ m^3/kg \ , \ T = 400°C \ , \ R = 0.4615 \frac{KJ}{kg.K} \ , \ T_{cr} = 647.3K$$

$$P_{cr} = 22.09MPa$$

أولاً : باستخدام معادلة الغاز المثالي :-

$$Pv = RT$$

$$P = \frac{RT}{v} = \frac{0.4615 \times (400+273.15)}{0.02} = 15.53 \text{Mpa}$$

ثانياً: باستخدام جداول البخار:-

From Table (A2) :- $\therefore T > T_{cr} \Rightarrow$ super heated vapor

From Table (A4) :- by using interpolation

$0.02108 \frac{m^3}{kg}$	120 bar
$0.02 \frac{m^3}{kg}$	P
$0.01722 \frac{m^3}{kg}$	140 bar

$$\therefore P = 125.596 \text{ bar} = 12.5596 \text{ Mpa}$$

---

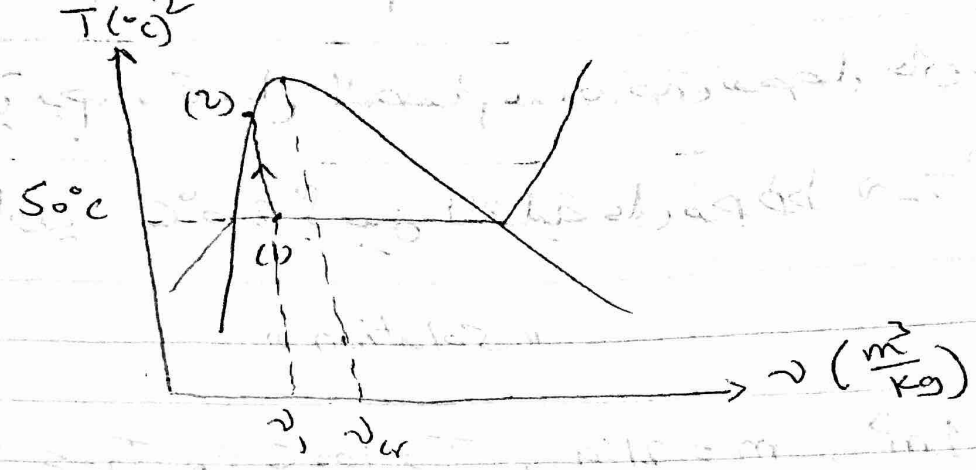
17 يحتوي خزان مقفل حجمه $0.004 m^3$ على 2kg من مخلوط مشبع لسائل وبخار الماء عند درجة حرارة 50°C. عندما سخن الماء بالتدريج حتى أصبح ذا طور واحد. فهل يا ترى يكون الماء في حالته النهائية في طور السائل أم طور البخار؟. ماذا تكون إجابتك إذا كان حجم الخزان يساوي $0.4 m^3$؟ بين الحالتين على مخطط T-v ؟

«Solution»

$V_1 = 0.004 m^3$, $m = 2kg$, $T = 50°C$, $V_2 = 0.4 m^3$

from Table (A2) :- $v_{cr} = 0.003155 \ m^3/kg$

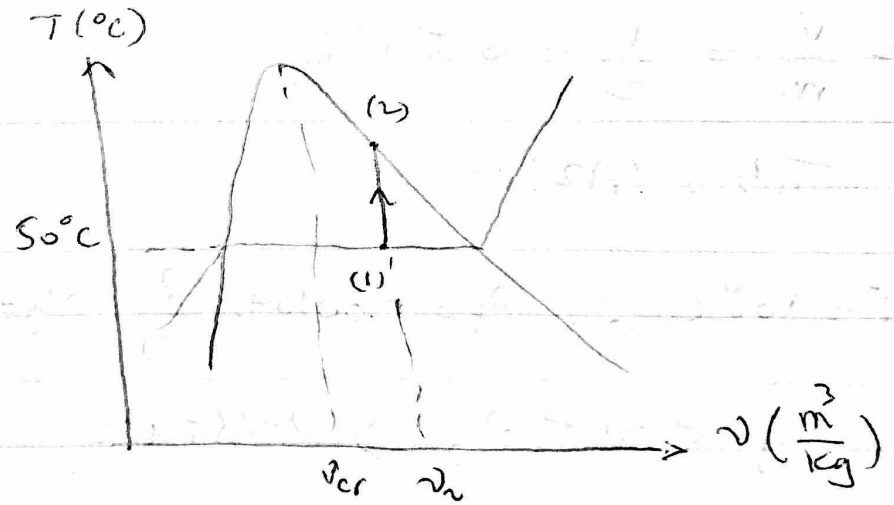
$$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0.004}{T(^\circ C)^2} = 0.002 \ m^3/kg$$



∴ يكون المادة في حالته الغازية (سائل مشبع) لأن الحجم النوعي له أقل من الحجم النوعي عند النقطة الحرجة.

لاحظ أن الإرتفاع كان عمودياً لأن حجم الخزان ثابت لا يتغير.

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \ m^3/kg$$

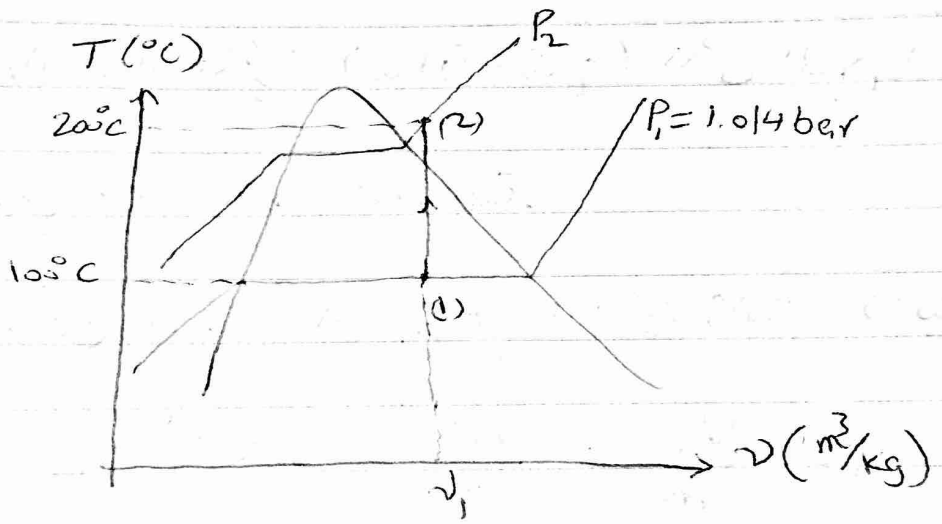


في هذه الحالة يكون بخاراً مشبعاً في حالته الغازية.

[18] يحتوي وعاء جاسئ وسعته حجمه $1m^3$ على $2kg$ من الماء عند درجة حرارة $100°C$. فإذا ركب صمام أمان على الوعاء، وسخن الوعاء حتى تتحول كل درجة حرارة قصوى تساوي $200°C$؟ بين العملية على مخطط $T-v$ ؟ ما هو الضغط الذي يجب تعديل الصمام عنده

«Solution»

$V = 1m^3$, $m = 2kg$, $T_1 = 100°C$, $T_2 = 200°C$



$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{2} = 0.5\ m^3/kg$$

From Table (A2):-

at $T = 100°C \Rightarrow v_f = 0.0010435\ \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.673\ m^3/kg$

$\therefore \quad v_f < v < v_g \Rightarrow$ Mixture

at $T = 200°C \Rightarrow v_f = 0.001565\ \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.1274\ m^3/kg$

$\therefore v > v_g \Rightarrow$ superheated vapor

From Table (A4):- by using interpolation

$0.716 \frac{m^3}{kg}$	3 bar
$0.5 \frac{m^3}{kg}$	P_2
$0.4646 \frac{m^3}{kg}$	5 bar

$\therefore P_2 = 4.7184 \text{ bar} = 471.841 kpa$

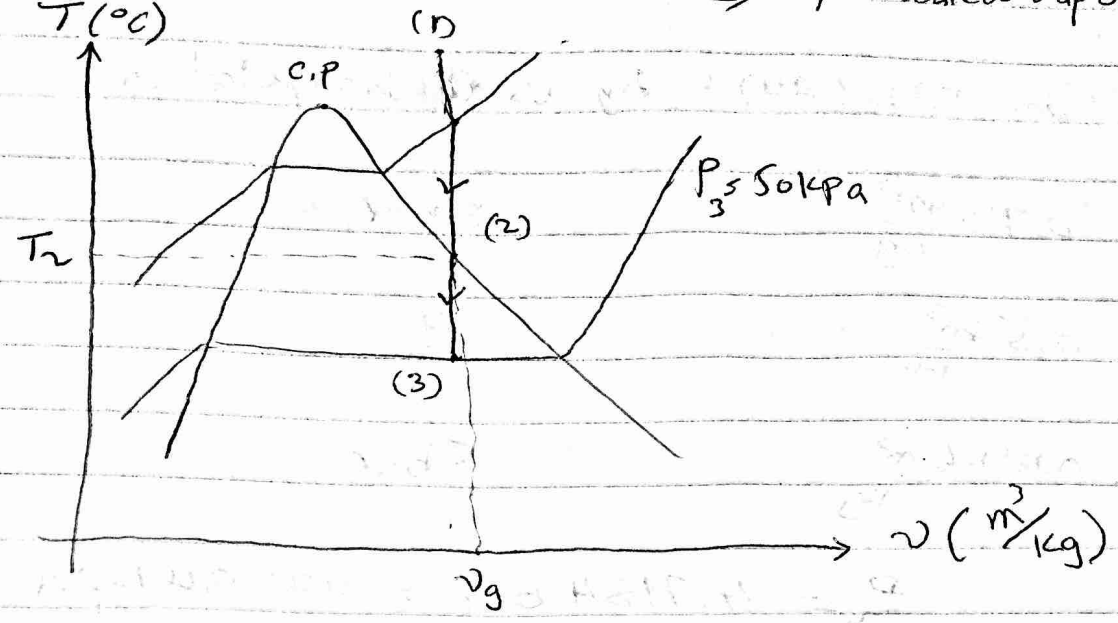
---

19 وعاء مقفل وجاسئ حجمه $1 m^3$ يحتوي على بخار. وكان ضغط ودرجة حرارة البخار في البداية 700kpa و 500°C، على الترتيب. وتنخفض درجة الحرارة نتيجة إنتقال الحرارة إلى المحيط المجاور. أوجد درجة الحرارة التي يبدأ عندها تكثف البخار بوحدات السيليسيوس، وكم الكتلة الكلية للبخار المتكثف عندما يصل الضغط إلى 50kpa. أوجد الحجم الذي يشغله السائل المشبع عند الحالة النهائية بوحدات m^3 ؟

« solution »

$V = 1 m^3$, $P_1 = 700 kpa$, $T_1 = 500°C$, $P_3 = 50 kpa$

From Table (A2) :- ∴ $T > T_{cr}$ ⇒ superheated vapor



From Table (A4) :- at P = 7 bar & T = 500°C

$$v_1 = v_g = 0.5070 \ m^3/kg$$

$$\therefore m_T = \frac{V}{v_g} = \frac{1}{0.5070} = 1.9724 \ kg$$

From Table (A2) :- by using interpolation

$0.5089 \frac{m^3}{kg}$	140°C
$0.5070 \frac{m^3}{kg}$	T_2
$0.3928 \frac{m^3}{kg}$	150°C

$$T_2 = 140.164°C$$

From Table (A3):- at $P_s = 0.5\,bar = 500\,kPa$

$$v_f = 1.03\times10^{-3}\ m^3/kg \quad , \quad v_g = 3.24\ m^3/kg$$

$$\therefore x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.5070 - 1.03\times10^{-3}}{3.24 - 1.03\times10^{-3}} = 0.1562$$

$$\therefore x = \frac{m_g}{m_T} \Rightarrow m_g = 0.1562 \times 1.9724 = 0.308115\,kg$$

$$m_f = m_T - m_g = 1.664285\,kg$$

$$\therefore V_f = m_f v_f = 1.664285 \times 1.03\times10^{-3} = 0.00171\,m^3$$

$$\therefore V_f = 1.71\,L$$

---

[20] وضع وعاء جاسئ مغلق حجمه $0.5\ m^3$ على قرص كهربائي ساخن وكان يوجد داخل الوعاء مبدئياً مخلوطاً من طوري سائل وبخار الماء المشبعين عند ضغط $P_1 = 100\,kPa$ وبجودة بخارية 50%. وبالتسخين يرتفع الضغط إلى $P_2 = 150\,kPa$ بين الحالتين المبدئية والنهائية على مخطط v-T وأوجد:

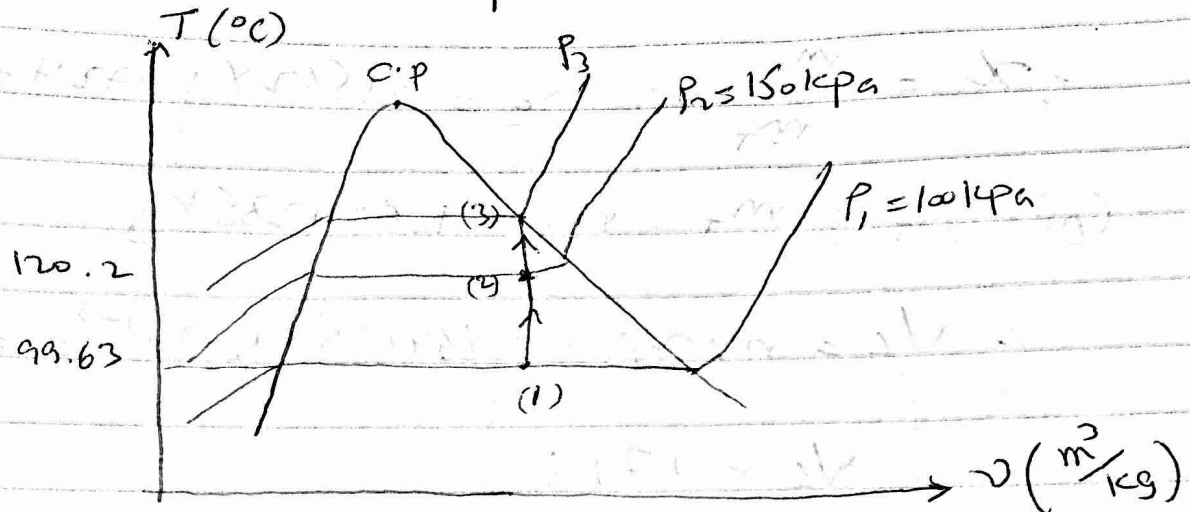
درجة الحرارة بوحدات °C عند كل حالة.

كتلة البخار الموجودة عند كل حالة. بوحدات kg.

③ إذا استمر التسخين ، أوجد الضغط عندما يصبح الحجم بخاراً مشبعاً.

« Solution »

$V = 0.5 m^3$, $P_1 = 100 kpa$, $x_1 = 0.5$, $P_2 = 150 kpa$



$T_1 = 99.63 °C$

$\therefore v = v_f + x(v_g - v_f)$

From Table (A3) :- at $P = 1 bar$

$v_f = 1.0432 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.694 \ m^3/kg$

$v = 1.0432 \times 10^{-3} + 0.5 (1.694 - 1.0432 \times 10^{-3})$

$v = 0.8475216 \ m^3/kg$

From Table (A3) :- at $P = 1.5 bar$

$v_f = 1.0528 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 1.159 \ m^3/kg$

$\therefore v_f < v < v_g \Rightarrow$ Mixture

$T_2 = T_{sat} = 120.2°C$

في الحالة الأولى تكون كتلة البخار كالتالي :-

$m_{g_1} = x_1 m_T$ & $m_T = \frac{V}{v} = \frac{0.5}{0.8475216} = 0.59 kg$

$\therefore m_{g_1} = 0.5 \times 0.59 = 0.295 kg$

وفي الحالة الثانية تكون كتلة البخار كالتالي :-

$x_2 = \frac{m_{g_2}}{m_T}$ & $x_2 = \frac{v - v_{f_2}}{v_{g_2} - v_{f_2}} = 0.731$

$\therefore m_{g_2} = x_2 m_T = 0.731 \times 0.59 = 0.4313 kg$

From Table (A3) :- by using interpolation

$0.8857 \ m^3/kg$	2 bar
$0.8475216 \ m^3/kg$	P_3
$0.7187 \ m^3/kg$	2.5 bar

$\therefore P_3 = 2.114 \ bar = 211.4 \ kpa$

[21] خزان جاسئ يحتوي على ماء عند درجة حرارة 100°C بحيث يكون 2MPa
السائل $\frac{1}{10}$ من حجم البخار. سخن الماء حتى أصبح الضغط 2MPa،
أوجد درجة الحرارة النهائية. بين ما إذا كان البخار في الحالة النهائية أكثر
أو أقل من الحالة الإبتدائية ؟

«solution»

$T = 100°C$, $V_f = \frac{1}{10} V_g$, $P_2 = 2MPa$

from Table (A2) :- $v_f = 1.0435 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$

$v_g = 1.673 \ m^3/kg$ ⇐ at $T = 100°C$

$V_f = m_f v_f$, $V_g = m_g v_g$

$\therefore \frac{V_g}{V_f} = 10 = \frac{1.673 \ m_g}{1.0435 \times 10^{-3} m_f}$

$\therefore m_g = 6.2373 \times 10^{-3} m_f$

$\therefore x_1 = \frac{m_g}{m_T} = \frac{6.2373 \times 10^{-3} m_f}{m_f + 6.2373 \times 10^{-3} m_f} = 6.1986 \times 10^{-3}$

$v = v_f + x(v_g - v_f) = 0.011407 \ m^3/kg$

From Table (A3) :- at $p = 2\,MPa = 20\,bar$

$$v_f = 1.1767 \times 10^{-3}\ \frac{m^3}{kg}\ ,\ v_g = 0.09963\ m^3/kg$$

$$\therefore\ v_f < v < v_g \Rightarrow \text{Mixture}$$

$$\therefore\ T = T_{sat} = 212.4\,^\circ C$$

$$x_2 = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.011407 - 1.1767 \times 10^{-3}}{0.09963 - 1.1767 \times 10^{-3}} = 0.1039$$

$$\therefore\ x_2 > x_1 \Rightarrow m_{g_2} > m_{g_1}$$

∴ يكون البخار في الحالة النهائية أكثر من الحالة الإبتدائية.

---

[22] يحتوي خزان جاسئ حجمه $0.02m^3$ على ماء مشبع (خليط بخار وسائل) عند $50^\circ C$ فإذا كان حجم السائل يعادل 70% من الحجم الكلي للخزان، أوجد الحجم النوعي للماء في هذه الحالة. ثم وضح ماذا يحدث طبقاً لسلوك السائل في الحالات الآتية :-

① عند التسخين إلى $340^\circ C$ ② عند التبريد إلى $100^\circ C$ ، وضح إجابتك على مخطط $(T-v)$.

(Solution)

$V_t = 0.02 m^3$, $T = 150°C$, $V_f = 0.7 V_t$

$\therefore V_f = m_f v_f$, $V_g = m_g v_g$

$V_f = 0.7 \times 0.02 = 0.014 m^3$, $V_g = 0.02 - 0.014 = 6 \times 10^{-3} m^3$

From Table (A2) :- at $T = 150°C$

$v_f = 1.0905 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.3928 \frac{m^3}{kg}$

$$m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.014}{1.0905 \times 10^{-3}} = 12.838 kg$$

$$m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{6 \times 10^{-3}}{0.3928} = 0.015275 kg$$

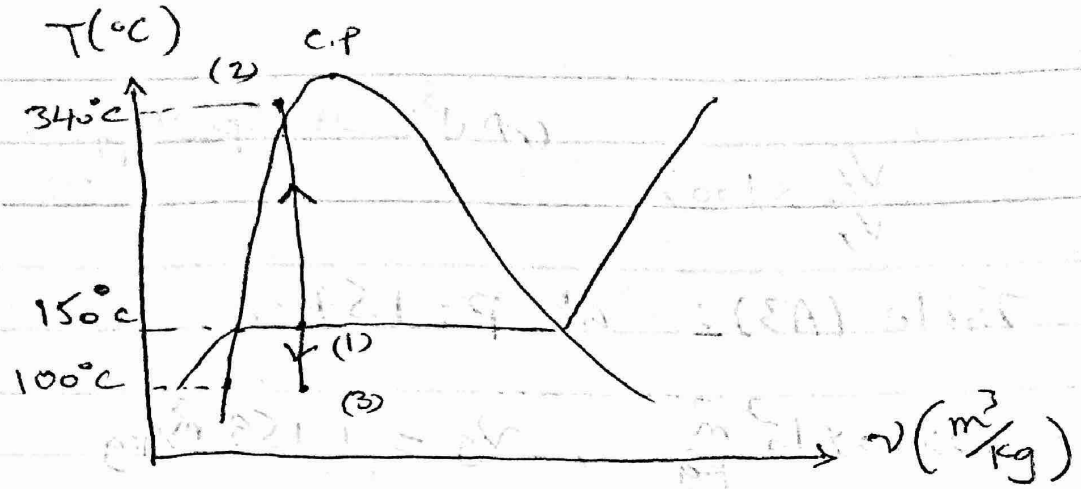
$$\therefore X = \frac{m_g}{m_g + m_f} = \frac{0.015275}{0.015275 + 12.838} = 1.188 \times 10^{-3}$$

$$\therefore v = v_f + X (v_g - v_f)$$

$$v = 1.0905 \times 10^{-3} + 1.188 \times 10^{-3} (0.3928 - 1.0905 \times 10^{-3})$$

$$\therefore v = 1.55585 \times 10^{-3} m^3/kg$$

$(v < v_{cr})$ أن بخار



From Table (A2) :- at . . T = 340°C

$\therefore v_f = 1.6379 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$, $v_g = 0.01080\ m^3/kg$

$\therefore v < v_f \Rightarrow$ compressed liquid

يزداد منسوب السائل عند التسخين إلى 340°c ويصبح الخليط سائل مضغوط .

أما عند التبريد فإن منسوب السائل يقل .

2- خزان مغلق يحتوي على 1 كيلوجرام من الماء (سائل + بخار) عند ضغط 1.5 بار . احسب نسبة حجم البخار السائل اللازم لجعل المادة تمر من خلال النقطة الحرجة عند التسخين ؟

« solution »

$m = 1\ kg$, $p = 1.5\ bar$, $v_{cr} = 3.155 \times 10^{-3}\ m^3/kg$

تكون نسبة حجم البخار الى الكلي هي $\frac{V_f}{V_T} \times 100\%$

from Table (A3): at $p = 1.5$ bar

$$v_f = 1.0528 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}, \quad v_g = 1.159 \ m^3/kg$$

$$V_T = m_T v_{cr} = 1 \times 3.155 \times 10^{-3} = 3.155 \times 10^{-3} m^3$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{3.155 \times 10^{-3} - 1.0528 \times 10^{-3}}{1.159 - 1.0528 \times 10^{-3}} = 1.81545 \times 10^{-3}$$

$$\therefore m_g = x m_T = 1.81545 \times 10^{-3} \ kg$$

$$\therefore m_f = m_T - m_g = 1 - 1.81545 \times 10^{-3} = 0.99818 kg$$

$$\therefore V_f = m_f v_f = 0.99818 \times 1.0528 \times 10^{-3} = 1.05089 \times 10^{-3} m^3$$

$$\therefore \frac{V_f}{V_T} \times 100\% = \frac{1.05089 \times 10^{-3}}{m_T v} \times 100\%$$

$$v = v_f + x(v_g - v_f) = 3.155 \times 10^{-3} \ m^3/kg$$

$$\frac{V_f}{V_T} \times 100\% = 33.3\%$$

* الشغل والحرارة :-

يمكن تعريف الشغل على أنه حصيلة ضرب قوة تعمل على إزاحة جسم في المسافة المزاحة. بحيث تكون الإزاحة في نفس إتجاه القوة المسلطة.

$$W_2 = \int_1^2 F\,dx \qquad (kJ)$$

ويسمى معدل الزمني لبذل الشغل بالقدرة (Power) ويرمز لها بالرمز $\dot{W}$

$$\dot{W} = \frac{\delta W}{dt} \qquad (kW)$$

ويمكن أيضاً التعبير عن الشغل لكل وحدة الكتلة (شغل نوعي)

$$w = \frac{W}{m} \qquad (kJ/kg)$$

وحيث أنه $P = \frac{F}{A}$ ، $dV = A\,dx$ فإن :-

$$W_2 = \int_1^2 P\,dV \qquad (kJ)$$

والشغل المبذول يكون عبارة عن المساحة المحصورة تحت منحنى P-V.

إذا كان الشغل موجباً فإن النظام هو الذي بذل الشغل والعكس بالعكس إذا كان الشغل سالباً.

* العملية متعددة المسارات :- Polytropic process

سميت هذه العملية بهذا الإسم لأن منحنى العلاقة بين الحجم والضغط يأخذ عدة مسارات حسب قيمة n حيث

$$\boxed{PV^n = C}$$

$$\therefore {}_1W_2 = \int_1^2 P\,dV \quad , \quad \therefore P = \frac{C}{V^n} = CV^{-n}$$

$$\therefore {}_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} CV^{-n}\,dV = C\int_{V_1}^{V_2} V^{-n}\,dV$$

$${}_1W_2 = C\left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1}\right]_{V_1}^{V_2} = \frac{C}{1-n}\left[V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right]$$

$$\therefore C = P_1V_1^n = P_2V_2^n$$

$$\boxed{\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}}$$

العملية ثابتة الضغط :- isobaric process

$$P = C \quad , \quad n = 0$$

$${}_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = P\int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$\therefore {}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$$

* العملية ثابتة الحجم :- Iso metreC process or Iso choric process

$$V = C \quad , \quad n = \infty$$

$$\boxed{{}_1W_2 = 0}$$

* $PV = C$

وهي عملية ثبوت درجة الحرارة في الغاز المثالي لكنه في الغاز المثالي $\frac{PV}{T} = C$

$${}_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V}\,dV = C \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\therefore {}_1W_2 = P_1V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

or

$${}_1W_2 = P_2V_2 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

or

$${}_1W_2 = P_1V_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

or

$${}_1W_2 = P_2V_2 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

« مسائل متنوعة »

[1] يبين الشكل المرفق جهاز مكبس و اسطوانة، تحتوي فيه الإسطوانة على $0.04m^3$ من الغاز. وكان الضغط المبدئي الناتج عن الأوزان الموجودة على المكبس يساوي 200kPa. وقد حوفظ على هذا الضغط ثابتاً بينما سخنت الإسطوانة حتى أصبح الحجم $0.1m^3$

① احسب الشغل المبذول من قبل الغاز داخل الإسطوانة أثناء هذه العملية.

② احسب الشغل المبذول إذا كانت العلاقة بين الضغط والحجم هي $PV = C$ ، $PV^{1.3} = C$.

③ إذا لم يتحرك المكبس. فما هي قيمة الشغل في هذه الحالة.

« solution »

$V_1 = 0.04m^3$, $P_1 = 200kPa$, $V_2 = 0.1m^3$

① $\because P = C \Rightarrow \therefore {}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$

${}_1W_2 = 200(0.1 - 0.04) = 12kJ$

② for $PV = C$

$\therefore P_1V_1 = P_2V_2 \Rightarrow P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = 80kPa$ ← إذا طلب الضغط النهائي

$\therefore {}_1W_2 = P_1V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 7.33KJ$

For $PV^{1.3} = C$ $\quad n = 1.3$

$${}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

$\therefore P_1V_1^{1.3} = P_2V_2^{1.3} \Rightarrow \therefore P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.3} = 60.7726kPa$

$\therefore {}_1W_2 = 6.409KJ$

③ $\therefore V = 0 \Rightarrow \therefore {}_1W_2 = 0$

---

[2] ضغطة كتلة 1.2kg من الهواء عند 150kPa و 12°C داخل جهاز مكبس و اسطوانة لا إحتكاكي وبحكم إلى ضغط 600kPa. وحدانتقلة مرة أثناء هذه العملية للمحافظة على درجة حرارة ثابتة داخل الأسطوانة احسب الشغل المبذول أثناء هذه العملية؟

((solution))

$m = 1.2kg$, $P_1 = 150kPa$, $T_1 = 12°C$, $P_2 = 600kPa$

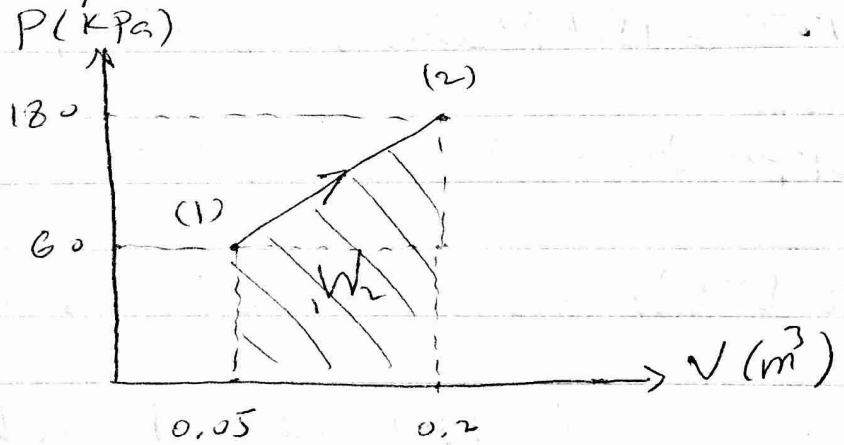
$\therefore T = C \Rightarrow \therefore PC = C$ ← Ideal gas

$$\therefore {}_1W_2 = P_1V_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = mRT_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = -139.96\,kJ$$

3 يحتوي جهاز مكبس-اسطوانة للإحتكاك على $0.05\,m^3$ من غاز عند $60\,kPa$، ويوجد ناضض في حالة شد سمكاً بالمكبس. سخنت الإسطوانة حتى إرتفع الحجم إلى $0.2\,m^3$ و الضغط إلى $180\,kPa$. أوجد باعتبار عدم وجود فواقد في المنظومة وباعتبار أن قوة الناضض تتغير خطياً مع الإزاحة. ① الشغل المبذول من قبل الغاز ② الشغل المبذول من قبل الغاز و المكبس، خذ الضغط الجوي $P_{atm} = 100\,kPa$

«Solution»

$V_1 = 0.05\,m^3$ ، $P_1 = 60\,kPa$ ، $V_2 = 0.2\,m^3$ ، $P_2 = 180\,kPa$



$${}_1W_2 \text{ للغاز} = P_1(V_2 - V_1) = 60\,(0.2 - 0.05) = 9\,kPa$$

$${}_1W_2 \text{ للغاز والمكبس} = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1) = 18\,kPa$$

4 يتغير ضغط غاز أثناء عملية تمدد من 100 إلى 900kPa وذلك طبقاً للعلاقة $P = aV + b$ حيث $a = 1MPa/m^3$ و b قيمة ثابتة. فإذا كان حجم الغاز الأصلي يساوي $0.2m^3$، احسب الشغل المبذول أثناء العملية ؟

"solution"

$P_1 = 100kPa$, $P_2 = 900kPa$, $a = 10^3 kPa/m^3$, $V_1 = 0.2m^3$

$\therefore P = aV + b \Rightarrow P_1 = aV_1 + b$ & $P_2 = aV_2 + b$

$100 = 10^3 \times 0.2 + b \Rightarrow b = -100kPa$

$\therefore P_2 = aV_2 + b \Rightarrow 900 = 10^3 V_2 - 100$

$\therefore V_2 = 1m^3$

$\therefore {}_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \int_{V_1}^{V_2} (aV + b)\,dV$

${}_1W_2 = \left[\frac{a}{2}V^2 + bV\right]_{V_1}^{V_2}$

${}_1W_2 = \frac{10^3}{2}(1^2 - 0.2^2) + (-100)(1 - 0.2) = 480 - 80$

$\therefore {}_1W_2 = 400kJ$

5 ضغط 2kg من غاز النيتروجين من الحالة 100kPa و 300K
يمدد طبقاً للعلاقة $PV^{1.4} = C$ حتى ارتفعت درجة حرارته إلى
360K . احسب الشغل المبذول ؟

«Solution»

$P_1 = 100kPa$, $T_1 = 300K$, $T_2 = 360K$

The process is polytropic $\Rightarrow PV^n = C$

$n = 1.4$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

بإفتراضه أن النيتروجين يسلك سلوك الغاز المثالي .

$P_1V_1 = mRT_1$ & $P_2V_2 = mRT_2$

$${}_1W_2 = \frac{mRT_2 - mRT_1}{1-n} = \frac{mR}{1-n}(T_2 - T_1)$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{28} = 0.29693 \ KJ/kg.K$$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{2 \times 0.29693}{1-1.4}(360 - 300) = -89.08$$

6 ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون داخل جهاز مكبس واسطوانة من حجم $0.3\ m^3$ إلى $0.1\ m^3$. ويرتبط الضغط والحجم أثناء هذه العملية بالعلاقة $PV^2 = a$ حيث $a = 8\ kPa.m^6$. احسب الشغل المبذول على الغاز أثناء هذه العملية؟

«solution»

$V_1 = 0.3\ m^3$, $V_2 = 0.1\ m^3$, $PV^2 = a$, $a = 8\ kPa.m^6$

$\therefore P_1 V_1^2 = a \Rightarrow P_1 = 8 \times (0.3)^{-2} = 88.889\ kPa$

$\therefore P_2 V_2^2 = a \Rightarrow P_2 = 8 \times (0.1)^{-2} = 800\ kPa$

this process is polytropic where $n = 2$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \frac{800 \times 0.1 - 88.889 \times 0.3}{1-2}$$

$${}_1W_2 = -53.333\ kJ$$

---

7 يوجد ماء عند $100^\circ C$، $50\ kPa$ داخل جهاز مكبس واسطوانة بحجم مبدئي $3\ m^3$. ضغط الماء يبدأ طبقاً للعلاقة $pV = c$ حتى أصبح الضغط النهائي $1\ MPa$. أوجد الشغل المبذول أثناء هذه العملية؟

«Solution»

$P_1 = 50 kPa$, $T_1 = 100^\circ C$, $V_1 = 3 m^3$, $P_2 = 10^3 kPa$

$$W_2 = P_1 V_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$W_2 = 50 \times 3 \ln\left(\frac{50}{10^3}\right) = -449.4 KJ$$

---

8 جهاز مكبس واسطوانة كما هو مبين بالشكل ، إذا كان الحجم المبدئي داخل الإسطوانة 100L ، والتي كان الضغط عندها 100kPa وكان النابض عند هذه الحالة في حالة تلامس مع المكبس دون ذل أي قوة عليه . بعدها إنتقلت حرارة للمنظومة مسببة في تمددها حتى تضاعف الحجم ، وأصبح الضغط داخل الاسطوانة 300kPa . وتتناسب قوة النابض أثناء هذه العملية تناسباً طردياً مع إزاحة المكبس من وضعه الأصلي .

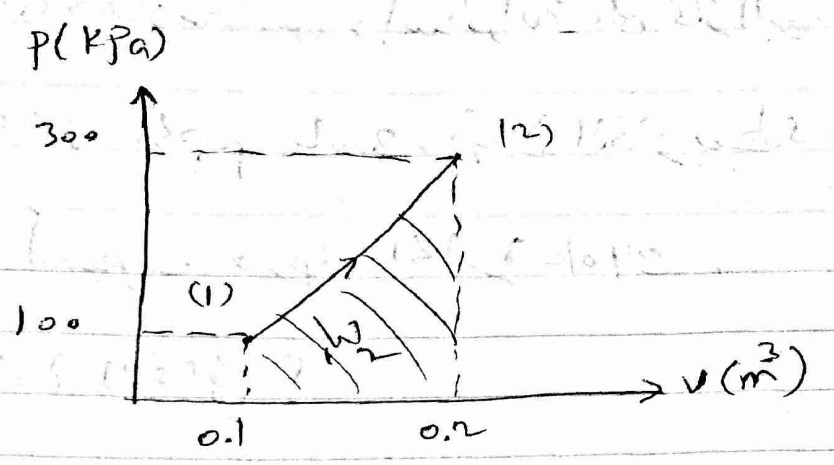
أ) بين العملية على خارطة P-V .

ب) احسب ما أخذ الهواء داخل الاسطوانة كمنظومة ، الشغل المبذول من قبل المنظومة . وما هي السنة المئوية للشغل والمبذول

على النابض ؟"

«solution»

$V_1 = 0.1\,m^3$, $P_1 = 100kPa$, $V_2 = 2V_1 = 0.2m^3$, $P_2 = 300kPa$



إذا أخذنا الهواء فقط كمنظومة وأهملنا وجود النابض فإن التمدد سيكون عند ضغط ثابت لأنه لن تؤثر أي قوة خارجية على المكبس.

$$W_2 = P_1(V_2 - V_1)$$

$$W_2 = 100(0.2 - 0.1) = 10\,kJ$$

أما إذا أخذنا في الحسبان وجود النابض فإن الشغل سيكون

$$W_2 = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1) = \frac{100 + 300}{2}(0.2 - 0.1)$$

$$W_2 = 20\,kJ$$

∴ تكون النسبة المئوية للشغل المبذول على النابض هي:-

$$\% = \frac{10}{20} \times 100\% = 50\%$$

---

[5] تحتوي إسطوانة جهاز تكبس وإسطوانة على غاز البروبان عند 100kpa و 300k وحينها كان الحجم 200L. حفظ الغاز ببطء طبقاً للعلاقة $PV^{1.1} = C$ حتى أصبحت درجة الحرارة 340k .

أ) ما هو الضغط النهائي ؟

ب) برر بأن نموذج الغاز المثالي معقول؟

ج) كم من الشغل بذل أثناء العملية ؟

«Solution»

$P_1 = 100kPa$, $T_1 = 300k$, $V_1 = 200L = 0.2m^3$, $T_2 = 340k$

حيث أن البروبان هو أحد المواد النقية الموجودة في الجداول ،

من الجدول (A-16) :

$T_{cr} = 96.7°C = 369.85k$

$P_{cr} = 42.48bar = 4248kPa$

$$P_{r_1} = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{100}{4248} = 0.02354 << 1$$

∴ يمكن تقريب البروبان كغاز مثالي

وحيث أن العملية من $PV^n = C$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} \quad , m = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{100 \times 0.2}{\frac{8.314}{44.09} \times 300} = 0.3537 \text{ kg}$$

$${}_1W_2 = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = \frac{0.3537 \times \frac{8.314}{44.09}(340-300)}{1-1.1}$$

$$\therefore {}_1W_2 = -26.667 \text{ kJ}$$

$$P_2 = \frac{mRT_2}{V_2} \Rightarrow P_2V_2 = 22.6666 \quad \text{---(1)}$$

$$P_1V_1^{1.1} = P_2V_2^{1.1} \Rightarrow P_2V_2^{1.1} = 100 \times (0.2)^{1.1}$$

$$P_2V_2^{1.1} = 17.027 \quad \text{---(2)}$$

$$\frac{P_2V_2^{1.1}}{P_2V_2} = \frac{17.027}{22.6666} \Rightarrow V_2^{0.1} = 0.75119$$

$$V_2 = (0.75119)^{10} = 0.0572 \text{ m}^3$$

$$\therefore P_2 = \frac{22.6666}{0.0572} = 396.17 \text{ kPa}$$

---

10 بالون من مطاط قطره 0.3m مملوء بغاز الهيدروجين عند ضغط 150kPa. سخن الغاز حتى تمدد البالون إلى قطر 0.4m وأصبح الضغط داخل

البالون 200kPa . وكان الضغط يتناسب خطياً مع القطر . احسب:

1) الشغل المبذول من قبل الغاز أثناء العملية.

2) الشغل المبذول من قبل البالون على المحيط الخارجي . حيث الضغط الجوي $P_{atm} = 100kPa$.

«Solution»

$D_1 = 0.3m$, $P_1 = 150kPa$, $D_2 = 0.4m$, $P_2 = 200kPa$

$P \propto D$

$\therefore V = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 \Rightarrow \therefore V \propto D^3$

or $V^{\frac{1}{3}} \propto D$

$\therefore P \propto V^{\frac{1}{3}} \Rightarrow P = cV^{\frac{1}{3}} \Rightarrow \boxed{\therefore PV^{-\frac{1}{3}} = c}$

(1) $\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$

$V_1 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6}D_1^3$

$V_2 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D_2}{2}\right)^3 = \frac{\pi}{6}D_2^3$

$\therefore {}_1W_2 = \frac{\pi}{6}\left(\frac{P_2D_2^3 - P_1D_1^3}{1-n}\right) = 3.436kJ$

(2) ${}_1W_2 = P_{atm}(V_2 - V_1) = \frac{\pi}{6}P_{atm}(D_2^3 - D_1^3) = 1.937kJ$

« القانون الأول للديناميكا الحرارية »

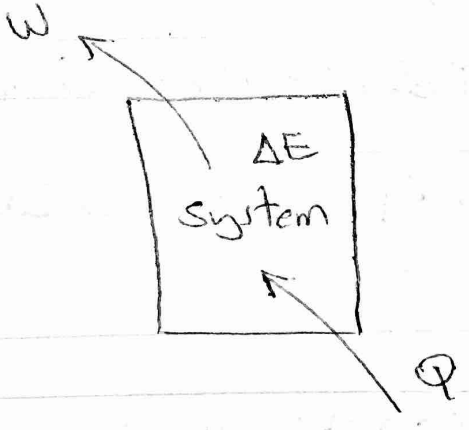
"First law of thermodynamics"

يمكن كتابة منطوق القانون الأول للديناميكا الحرارية كما يلي :

يتناسب التكامل المغلق لإنتقال الحرارة أثناء دورة تقوم بها منظومة تناسباً طردياً مع التكامل المغلق للشغل .

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

بإختصار، لو إفترضنا أن لدينا منظومة (system) وقمنا بإعطائها كمية من الحرارة (Q)، فإن المنظومة ستستغل هذه الحرارة إما في صورة شغل أو سترفع بها الطاقة الكامنة لها أو كلاهما معاً .



$$Q = W + \Delta E$$

or $$\boxed{\Delta E = Q - W}$$

وهذا هو القانون الأول للديناميكا الحرارية للمنظومة المغلقة.

حيث :

Q ← $(+) \Rightarrow$ الطاقة الحرارية داخلة للمنظومة

Q ← $(-) \Rightarrow$ الطاقة الحرارية خارجة من المنظومة

W ← $(+) \Rightarrow$ الشغل ينزل بواسطة المنظومة

W ← $(-) \Rightarrow$ الشغل ينزل على المنظومة

$$\Delta E = E_2 - E_1 = U_2 - U_1 + \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2) + mg(Z_2 - Z_1)$$

((الحرارتان النوعيتان عند ثبوت الضغط والحجم))

تعرف الحرارة النوعية (specific heat) على أنها الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة درجة مئوية واحدة.

ملاحظة :-

الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط (C_p) دائماً أكبر من الحرارة النوعية عند ثبوت الحجم (C_v) . والسبب في ذلك لأنه يسمح

للمنظومة بأن تتمدد أثناء ثبوت الضغط، سما يتطلب تزويدها بالطاقة اللازمة للقيام بهذا التمدد.

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \quad , \quad c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$

وتكون وحدة الحرارة النوعية هي $(kJ/kg.^\circ C)$ أو $(kJ/kg.K)$ لأن $\Delta T_C = \Delta T_K$. وتعطى الحرارتان النوعيتان في بعض الأحيان على أساس المولات، حيث يشار إليهما بالرمزين $\overline{c_v}$ و $\overline{c_p}$ وتكون الوحدة $(kJ/kmol.^\circ C)$ أو $(kJ/kmol.K)$.

$$\therefore c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \Rightarrow dh = c_p(T)\,dT$$

$$\therefore c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \Rightarrow du = c_v(T)\,dT$$

$$\therefore \Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T)\,dT \qquad (kJ/kg)$$

$$\therefore \Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T)\,dT \qquad (kJ/kg)$$

$$\frac{c_p}{c_v} = k \quad , \quad c_p - c_v = R$$

كيفية حساب Δu و Δh

المادة النقية
Pure substance

From tables

عدد الحالة أولاً ثم نأخذ القيم

Tables A-22, A-23

وتعتبر أسهل وأدق طريقة حيث يلزم إيجاد Δu أو Δh يجب معرفة درجات الحرارة فقط.

$T_1 \Rightarrow u_1, h_1$

$T_2 \Rightarrow u_2, h_2$

$\Delta u = u_2 - u_1$

$\Delta h = h_2 - h_1$

الجدول (A-22) للبخار فقط بينما (A-23) للغازات الأخرى

الغاز المثالي
Ideal gas

Table A-21

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} c_v \, dT$$

$$c_v = \frac{\bar{R}}{M}\left[\alpha + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 + \varepsilon T^4\right]$$

$$\Delta h = \int_{T_1}^{T_2} c_p \, dT$$

$$c_p = \frac{\bar{R}}{M}\left[\alpha + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3 + \varepsilon T^4\right]$$

وقيم $\varepsilon, \delta, \gamma, \beta, \alpha$ موجودة في الجدول A-21 لكل غاز على حدة.

المواد الصلبة والسائلة
solids & liquids

$\Delta u = \Delta h = c(T_2 - T_1)$

$c_v = c_p = c$

From Table (A-19)

Table A-20

طريقة تقريبية ثابتة

Constant specific heat

$\Delta u = c_{v,avg}(T_2 - T_1)$

$\Delta h = c_{p,avg}(T_2 - T_1)$

$c_{v,avg}$ & $c_{p,avg}$

يحسبان عند درجة حرارة متوسطة وتعطى:

$T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2}$

ملاحظة هامة جداً :

- يجب ملاحظة أن قيم u و h في الجدول A-23 هي $\bar{u}$ و $\bar{h}$ ولإيجاد u و h فإننا نقسم هذه القيم على الوزن الجزيئي للغاز :

$$h = \frac{\bar{h}}{M} \quad , \quad u = \frac{\bar{u}}{M}$$

- ويجب ملاحظة أيضاً أن الغاز المثالي تعتمد الطاقة الداخلية له (u) و الإنتالبي (h) على درجة الحرارة إعتماد مباشر حيث أنه إذا كان :

$$\boxed{T = C \Rightarrow \Delta u = \Delta h = 0}$$

وهذا فقط يطرأ على الغاز المثالي .

---

* القانون الأول للغاز المثالي للمنظومة المفتوحة :-

كما ذكرنا سابقاً أنه في المنظومة المغلقة تكون الكتلة ثابته و إنتقال الطاقة يتم في صورة حرارة وشغل فقط حيث

$$m = C \quad , \quad Q = W + \Delta E$$

فإننا سنضيف في حالة المنظومة المفتوحة الطاقة المنتقلة في صورة كتلة (Energy Transfer by mass) ، وستكون الكتلة داخل المنظومة المفتوحة إما ثابتة وإما غير ثابتة حسب معدل دخول الكتلة وخروجها.

وبالتالي ، في وجه العموم فإنه لدينا معادلتين ، معادلة موازنة الكتلة (mass balance) ومعادلة موازنة الطاقة (Energy balance).

- mass Balance:

$$\frac{dm_{c.v}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$$

- Energy Balance:

$$\frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{\tilde{V}_i}{2} + g z_i\right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{\tilde{V}_e}{2} + g z_e\right)$$

حيث $(\dot{m})$ هي معدل تدفق الكتلة (mass flow rate) ووحدتها (kg/s) حيث :

$$\boxed{\dot{m} = \frac{AV}{\nu} = \rho AV}$$

A ⇒ مساحة المقطع (m^2)

v ⇒ السرعة (m/s)

ν ⇒ الحجم النوعي (m^3/kg)

ρ ⇒ الكثافة (kg/m^3)

---

* عملية الحالة المستقرة والتدفق المستقر :-

* steady state steady flow process (SSSF):

الحالة المستقرة (steady state) تعني أنه لا يوجد تغير مع الزمن، أي أن $\frac{d}{dt}(\square) = 0$

وعليه فإن القانون الأول للديناميكا الحرارية في العملية (sssf) يكون :

Energy Balance:

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i\right) - \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\boxed{\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e\right)}$$

Mass Balance:

$$0 = \Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_e \Rightarrow \boxed{\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e}$$

لحل المسائل، [1] إذا كانت المنظومة كاظمة للحرارة (أو معزولة حرارياً أو كانت العملية أديباتية) فإن $\dot{Q} = 0$

[2] حسب نوع الجهاز، بعض إذا كان الجهاز يعطي شغل مثل التوربينات (Turbines) فإننا لا يمكننا إلغاؤه ويجب أن تكون قيمة الشغل موجبة. أما إذا كان الجهاز يستهلك شغل فإن الشغل يجب أن يكون سالب. مثل الضاغط (compressor) والمضخة (pumb). أما إن كان الجهاز لا يستهلك ولا يعطي شغل فإن $\dot{W} = 0$.

[3] إذا اهتم السؤال بالطاقة الوضعية (طاقة الموضع) فإنه يجب أخذها في الحسبان. أما إذا لم يتم ذكرها ولا توجد لدينا معلومات للتحصل عليها فإنها تهمل. أي أن: $z_i = z_e = 0$

[4] إذا كانت الفكرة الأساسية من الجهاز هي تبديل السرعات مثل الفوهات (Nuzzles) فإنه لا يمكننا إلغاء السرعات عند الدخول والخروج. أما إذا لم تكن فكرة الجهاز كذلك ولا توجد لدينا معلومات

للتحصل على الشرط فإننا سنفترض أن : $V_i = V_e = 0$.

---

* عملية الحالة المنتظمة والتدفق المنتظم :-

* Uniform state Uniform flow process (Us Uf) :

$$\therefore \frac{dm_{c.v}}{dt} = \Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_e$$

$$\int_{m_1}^{m_2} dm_{c.v} = \int_0^t [\Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_e]\, dt$$

$$\boxed{\therefore m_2 - m_1 = \Sigma m_i - \Sigma m_e} \quad (kg)$$

$$\therefore \frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) - \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\int_{E_1}^{E_2} dE_{c.v} = \int_0^t \left[\dot{Q} - \dot{W} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) - \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)\right] dt$$

$$\boxed{\therefore E_2 - E_1 = Q - W + \Sigma m_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) - \Sigma m_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)}$$

$$E_1 = U_1 + \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + m g z_1 \quad (kJ)$$

$$E_2 = U_2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 + m_2 g z_2 \quad (kJ)$$

« مسائل متنوعة »

[1] يتمدد غاز الهيدروجين مبدئياً عند 1.6MPa و 400K إلى 0.4MPa في عملية كاتبة درجة الحرارة. أوجد لكتلة 1kg من الغاز الشغل المبذول و إستقبال الحرارة، التغير في الطاقة الداخلية للمنظومة، وارسم شكلاً توضيحياً للعملية على خارطة P-v.

« solution »

$P_1 = 1600kPa$, $T_1 = 400K$, $P_2 = 400kPa$, $T = C$, $m = 1kg$

حيث أنه في الغاز المثالي إذا كانت درجة الحرارة كاتبة، فإنه لن يكون هناك تغيّر في الطاقة الداخلية للمنظومة.

$\therefore \Delta U = 0$

$\because T = C \Rightarrow PV = C$ ⇐ closed system & Ideal gas

$\therefore {}_1W_2 = P_1V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$\therefore {}_1W_2 = mRT_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 1 \times \frac{8.314}{2} \times 400 \ln\left(\frac{1600}{400}\right)$

${}_1W_2 = 2.3051MJ$

$\therefore {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta E$

$$\Delta KE = \Delta PE = 0$$

$$\therefore {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U \quad (\Delta U = 0)$$

$$\therefore {}_1Q_2 = 2.3051\ MJ$$

---

2 يحتوي جهاز مكبس واسطوانة على $0.8\ m^3$ من غاز النيتروجين عند $300kPa$ و $327°C$. وقد سمح للنيتروجين بأن يبرد عند ضغط ثابت حتى انخفضت درجة حرارته إلى $77°C$. أوجد إستقال الحرارة؟

«solution»

$V_1 = 0.8\ m^3$, $P = 300kPa$, $T_1 = 327°C$, $P = C$, $T_2 = 77°C$

$${}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta E$$

$$\Delta EK = \Delta PE = 0 \Rightarrow {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U$$

$${}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$$

$$V_2 = \frac{mRT_2}{P} \quad \text{and} \quad mR = \frac{P_1V_1}{T_1} = 0.3999\ KJ/K$$

$$\therefore V_2 = \frac{0.3999 \times (77+273.15)}{300} = 0.46675\ m^3$$

$$\therefore {}_1W_2 = 300(0.46675 - 0.8) = -99.975\ KJ$$

From Table A.23

$\therefore T_1 = 327^\circ C = 600K \Rightarrow \bar{u}_1 = 8314 \text{ KJ/kmol}$

$\therefore u_1 = \frac{8314}{(\frac{8.314}{28})} = 28000 \text{ KJ/kg}$

$\therefore T_2 = 77^\circ C = 350K \Rightarrow \bar{u}_2 = 7270 \text{ KJ/kmol}$

$\therefore u_2 = \frac{7270}{(\frac{8.314}{28})} = 24484 \text{ KJ/kg}$

$\therefore mR = 0.3999 \text{ KJ/K} \Rightarrow m = 1.34679 \text{ kg}$

$\therefore \Delta U = m(u_2 - u_1) = 1.34679 (24484 - 28000)$

$\Delta U = -4735.31 \text{ KJ}$

$\therefore {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U = -99.975 - 4735.31$

$\therefore {}_1Q_2 = -4835.29 \text{ KJ}$

---

3 سخنت كتلة 1.5kg من الهواء داخل جهاز مكبس و إسطوانة من 27°C إلى 77°C بواسطة تمرير تيار خلال مقاومة كهربائية موجودة داخل الإسطوانة. وقد بقي الضغط داخل الإسطوانة ثابتاً عند 300kPa أثناء العملية، و انتقلت كمية من الحرارة مقدارها 60KJ

كفاءة مراوح إلى الوسط المحيط. أوجد الطاقة الكهربائية اللازمة لهذا التسخين بوحدات kWh ؟

«solution»

$m = 15\,kg$, $T_1 = 25^\circ C$, $T_2 = 77^\circ C$, $P = C$, $Q = 60\,kJ$

أولاً: يجب ملاحظة أن

$$kWh = kW.3600s = 3600\,kJ$$

$$\therefore {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta E$$

$$\therefore \Delta KE = \Delta PE = 0 \Rightarrow {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U$$

From table A-22: at $T_1 = 25^\circ C = 298\,K$

295 k	210.49 KJ/kg
298 K	u_1
300 K	214.07 KJ/kg

$$\therefore u_1 = 212.638\ KJ/kg$$

at $T_2 = 77^\circ C = 350k \Rightarrow u_2 = 250.02\ KJ/kg$

$$\therefore \Delta U = m(u_2 - u_1) = 5(250.02 - 212.638)$$

$$= 560.73\ KJ$$

$$\therefore \quad -60 = {}_1W_2 + 560.73$$

$$\therefore \quad {}_1W_2 = -620.73\ kJ$$

$$\therefore \quad {}_1W_2 = -\frac{620.73}{3600}\ kW.h = -0.172\ kW.h$$

هذه القيمة من الشغل هي ناتج مجموع شغل بذلك المنظومة وشغل آخر بذل على المنظومة من المحيط (بواسطة تمرير تيار كهربائي خلال مقاومة في هذه الحالة)

$$-0.172 = {}_1W_{2_{دود}} + {}_1W_{2_{surr}}$$

$${}_1W_{2_{دود}} = P(V_2 - V_1) = P\left(\frac{mRT_2}{P} - \frac{mRT_1}{P}\right)$$

$${}_1W_{2_{دود}} = mR(T_2 - T_1) = 15 \times 0.287 \times (350 - 298)$$

$${}_1W_{2_{دود}} = 223.86\ kJ = 0.062183\ kW.h$$

$$\therefore \quad {}_1W_{2_{surr}} = -0.172 - 0.62183 = -0.235\ kW.h$$

والإشارة السالبة هي الدليل على أن هذه الكمية من الشغل بذلت على النظام (بمعنى بُذل شغل على المنظومة مقداره 0.235 kW.h).

4 يدخل بخار مشبع من الماء إلى خزان عند 80°C وبمعدل ثابت للكتلة يساوي 0.1 kg/s . ويجب ألاّ تزيد السرعة عن 12 m/s أوجد أصغر قطر للأنبوب الكامل لهذا البخار؟

"Solution"

$T = 80^\circ C = T_{sat}$, $\dot{m} = 0.1\ kg/s$, $V = 12\ m/s$

$$\therefore \dot{m} = \frac{AV}{v}$$

نرجع لإيجاد الحجم النوعي من الجداول

From Table (A2) : at $T = 80^\circ C$

$v_g = 3.407\ m^3/kg$ ← لأن حالة الدخول بخار مشبع

$$A = \frac{\dot{m} v}{V} = \frac{0.1 \times 3.407}{12} = 0.028392\ m^2$$

$$\therefore A = \frac{\pi}{4} D^2 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.1901\ m$$

$$\therefore D = 19.01\ cm$$

5) يتدفق هواء بإستقرار إلى داخل توربين كاظم للحرارة عند 1Mpa و 500°C وبسرعة 120m/s ، ويغادر التوربين عند 150kpa و 150°C وبسرعة 250m/s وكانت مساحة الدخول المقطعية إلى التوربين تساوي 80cm². ① أوجد المعدل الزمني لتدفق الكتلة

② منتج القدرة للتوربين.

"solution"

$P_i = 1Mpa = 1000kpa$, $T_i = 500°C$, $V_i = 120 m/s$

$P_e = 150kpa$, $T_e = 150°C$, $V_e = 250 m/s$, $A_i = 80cm^2$

$$\therefore \dot{m} = \frac{AV}{v}$$

وحيث أن لدينا حالة دخول واحدة وخروج واحد، وبافتراض أن العملية (SSSF).

$$\therefore \sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

$$\cancel{\dot{Q}}^{=0} + \cancel{\sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right)}^{=0} = \dot{W} + \cancel{\sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)}^{=0}$$

$$\dot{m}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2}\right) = \dot{W} + \dot{m}\left(h_e + \frac{V_e^2}{2}\right)$$

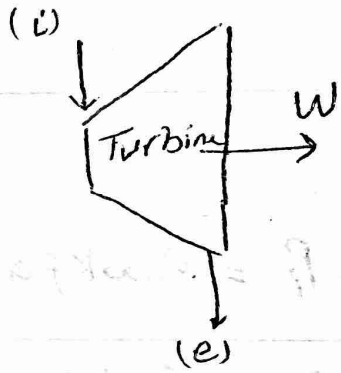
$$\therefore \dot{W} = \dot{m}\left(h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2}\right)$$

$$\dot{m} = \frac{A_i V_i}{v_i} = \frac{A_i V_i}{RT_i} P_i = \frac{80\times10^{-4}\times120\times10^{3}}{0.287\times773} = 4.327 \ \frac{kg}{s}$$

From Table (A-22): at $T_i = 500°C = 773K$

770K	789.11 KJ/kg
773K	h_i
780K	800.03 KJ/kg

$\therefore h_i = 792.386$ KJ/kg



at $T_e = 150°C = 423K$

420K	421.26 KJ/kg
423K	h_e
430K	431.43 KJ/kg

$\therefore h_e = 424.311$ KJ/kg

$$\therefore \dot{W} = 4.327\left(792.386 - 424.311 + \frac{(120)^2-(250)^2}{2000}\right)$$

$$\therefore \dot{W} = 1488.596\ kW \approx 1.49\ MW$$

---

6) يدخل الهواء باستقرار إلى داخل توربين كاظم للحرارة عند 900kpa, 450°C وبسرعة 80m/s، ويغادر التوربين عند 150kpa وبسرعة 150m/s. وكانت مساحة الدخول المقطعية إلى التوربين تساوي 60cm². فإذا كان منتج قدرة التوربين 250kW أوجد درجة حرارة الخروج للهواء؟

« solution »

$P_i = 900kpa,\ T_i = 450°C,\ V_i = 80\ m/s$

$P_e = 150kpa,\ V_e = 150\ m/s;\ A_i = 60cm^2,\ \dot{W} = 250kW$

$$\cancel{\dot{Q}} + \cancel{\Sigma \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right)} = \dot{W} + \cancel{\Sigma \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)}$$

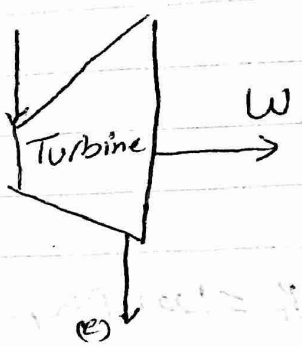
$$\dot{m}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2}\right) = \dot{W} + \dot{m}\left(h_e + \frac{V_e^2}{2}\right)$$

$$\dot{W} = \dot{m}\left(h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2}\right)$$

$$\dot{m} = \frac{A V_i}{v_i} = \frac{60\times10^{-4}\times 80}{\frac{0.287\times(450+273)}{900}} = 2.082\ kg/s$$

From Table (A-22): at $T_i = 450°C = 723K$

720 K	734.82 KJ/kg
723 K	h_i
730 K	745.62 KJ/kg



$$h_i = 738.06\ KJ/kg$$

$$\frac{\dot{W}}{\dot{m}} = h_i - h_e + \frac{\tilde{V_i} - \tilde{V_e}}{2}$$

$$h_e = h_i + \frac{\tilde{V_i} - \tilde{V_e}}{2} - \frac{\dot{W}}{\dot{m}}$$

$$h_e = 738.06 + \frac{80^2 - 150^2}{2000} - \frac{250}{2.082} = 609.933\ KJ/kg$$

From Table (A-22):

607.02 KJ/kg	600 K
609.933 KJ/kg	T_e
617.53 KJ/kg	610 K

$$\Rightarrow T_e = 602.77K = 329.77°C$$

7 ضغط هواء من 100kpa و 22°c إلى 1Mpa بينما يبرد عند معدل 16kJ/kg بواسطة تدوير ماء داخل غلاف الضاغط. وكان المعدل الزمني لتدفق الكتلة عند الدخول إلى الضاغط $150 m^3/min$، ومدخل القدرة إلى الضاغط 500kW. أوجد (1) المعدل الزمني لتدفق كتلة الهواء. (2) درجة الحرارة عند الخروج.

«Solution»

$P_i = 100 kpa$, $T_i = 22°C$, $P_e = 10^3 kpa$, $q = -16 KJ/kg$

$\dot{V} = 150 m^3/min = \frac{150}{60} m^3/s = 2.5 m^3/s$, $\dot{W} = -500 kw$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_i}{v_i} = \frac{P_i \dot{V}_i}{RT_i} = \frac{100 \times 2.5}{0.287 \times (22+273)} = 2.9528 \frac{KS}{s}$$

$$\dot{Q} = q\dot{m} = -16 \times 2.9528 = -47.245 kW$$

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e\right)$$

$$\dot{Q} + \dot{m}(h_i) = \dot{W} + \dot{m}(h_e)$$

$$h_e = \frac{\dot{Q} + \dot{m}h_i - \dot{W}}{\dot{m}} = \frac{-47.245 + 2.9528 \times h_i - (-500)}{2.9528}$$

From Table (A-22): at $T_i = 22°C = 295K$

$h_i = 295.17 \ KJ/kg$

$\therefore h_e = 448.5 \ KJ/kg$

441.61 KJ/kg	440 K
$h_e = 448.5 \ KJ/kg$	T_e
451.8 KJ/kg	450 K

$\therefore T_e = 446.76K = 173.76°C$

---

[3] قطعة من النحاس كتلتها 2 كجم، درجة حرارتها الابتدائية 150°C، أستغطت في إناء معزول يحتوي على ماء عند 20°C وضغط جوي 1bar فإذا كانت درجة حرارة الإتزان هي 80°C،

بفرض أن $C_{copper} = 0.395 \frac{KJ}{kg.K}$ ، $C_{H_2O} = 4.2 \frac{KJ}{kg.K}$

أوجد: (1) كتلة الماء الابتدائي (2) الطاقة الداخلية الضائعة للماء.

« solution »

$m_{cu} = 15\,kg$, $T_{cu_1} = 150^\circ C$, $T_{H_2O_1} = 20^\circ C$, $P_{H_2O} = 1\,bar$

$T_f = 80^\circ C$

$\because \quad Q = W + \Delta E$

$\Delta KE = \Delta PE = 0$, $Q = 0$, $W = 0$

$$0 = 0 + \Delta U \Rightarrow U_1 = U_2$$

$$\because \Delta U_{total} = \Delta U_{H_2O} + \Delta U_{cu} = 0$$

$$\Delta U = m_{H_2O} C_{H_2O} (T_f - T_{H_2O_1}) + m_{cu} C_{cu} (T_f - T_{cu_1}) = 0$$

$$m_{H_2O} \times 4.2 (80 - 20) + 0.395 \times 15 (80 - 150) = 0$$

$$252 m_{H_2O} = + 414.75$$

$$m_{H_2O} = 1.6458\,kg$$

From Table (A2): at $P = 1\,bar \Rightarrow T_{sat} = 99.63^\circ C$

$\because T_f < T_{sat}$

$\therefore$ state compressed liquid

$$\therefore v = v_{f@20^\circ C} = 1.0018 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$$

$$\therefore V_{H_2O} = m_{H_2O} v = 1.6487 \times 10^{-3}\ m^3$$

$$V_{H_2O} = 1.6487\ L$$

$$u_{H_2O_f} := u_{f@20^\circ C} = 83.95\ kJ/kg$$

$$\therefore U_{f_{H_2O}} = 138.165\ kJ$$

[1] يحتوي خزان مغلق حجمه $0.4m^3$ والمبين على الشكل المرفق على غاز مثالي عند ضغط 25kPa ودرجة حرارة 30°c وكان هذا الخزان موصلاً إلى إسطوانة مفتوحة وبها مكبس تحتاج كتلته إلى ضغط 150kPa لرفعه. فتح الصمام الواصل بين الخزان والإسطوانة ليسمح بتدفق الغاز إلى الإسطوانة. يبقى الغاز في حالة متزنة عند 30°c و150kPa خلال العملية. احسب الشغل المبذول من الغاز خلال العملية؟ $M = 39.94 \frac{kg}{kmol}$

«Solution»

في الحالة الإبتدائية، يكون الحجم الإبتدائي داخل المكبس مساوياً للصفر ($V_1 = 0$). بعد فتح الصمام ودخول الغاز إلى الإسطوانة فإن المكبس سيتمدد ولن تؤثر عليه أي قوة تجعل الضغط يتغير وبالتالي فإنه سيتمدد عند ضغط ثابت ($P = C$)

$$W_2 = P(V_2 - \underbrace{V_1}_{=0}) = PV_2 = m_1RT$$

في الحالة الإبتدائية داخل الخزان :-

$$P_1V = m_1RT$$

$$\therefore m_1 = \frac{P_1V}{RT}$$

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{39.94} = 0.20816 \ kJ/kg.k$$

$$m_1 = \frac{250 \times 0.4}{0.20816 \times 303.15} = 1.5847 \ kg$$

في الحالة النهائية داخل الخزان :

$$P_2 V = m_2 R T$$

$$m_2 = \frac{P_2 V}{RT} = \frac{150 \times 0.4}{0.20816 \times 303.15} = 0.95008 \ kg$$

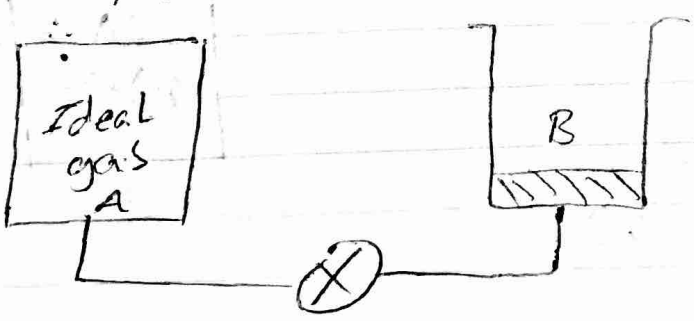
$$m_i = m_1 - m_2$$

يقصد بـ (m_i) الكتلة الداخلة للمكبس (الخارجة من الخزان)

$$m_i = 1.5847 - 0.95008 = 0.63462 kg$$

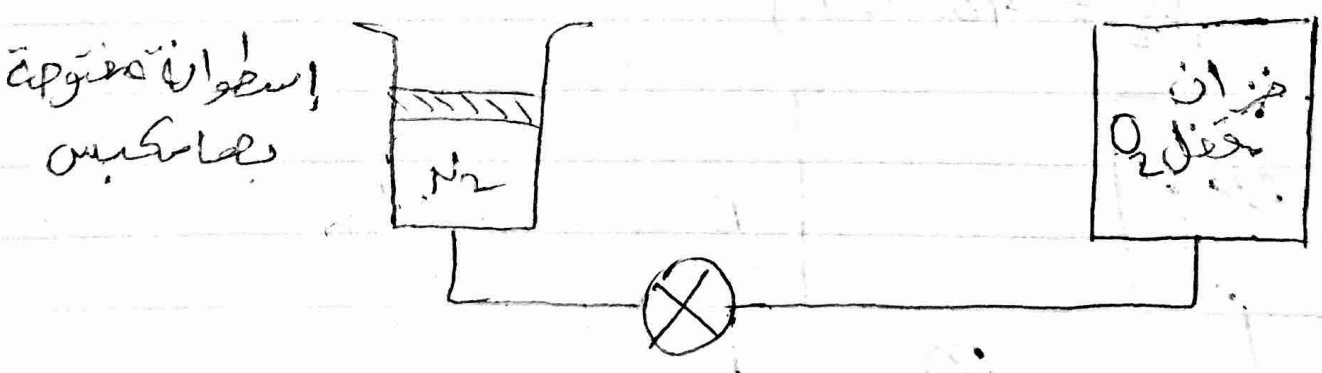
$$\therefore {}_1W_2 = 0.63462 \times 0.20816 \times 303.15$$

$${}_1W_2 = 40.05 \ kJ$$



2 يحتوي خزان مغلق حجمه $0.4m^3$ و الطبين على الشكل المرفق على غاز أكسجين عند ضغط 250kPa و درجة حرارة 30°C . و كان هذا الخزان موصلاً إلى إسطوانة مفتوحة و بها مكبس لا إحتكاكي . الأسطوانة في حالتها الإبتدائية تحتوي على 0.5kg من غاز النيتروجين عند ضغط 150kPa و درجة حرارة 30°C . فتح الصمام الواصل بين الخزان و الإسطوانة ليسمح بتدفق الأكسجين إلى الأسطوانة حتى أصبح الضغط داخل الخزان 150kPa عندها قفل الصمام . بإفتراض أن المخلوط في الحالة النهائية غاز متجانس من الأكسجين و النيتروجين و إعتباره غاز مثالي . و بإفتراض أن درجة حرارة الأكسجين بقيت ثابتة عند 30°C . أوجد الشغل المبذول أثناء هذه العملية ؟

« solution »



$$\therefore {}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$$

في الحالة الإبتدائية داخل الإسطوانة :

$$P_1V_1 = m_1RT \quad , \quad R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.314}{28} = 0.29693 \ \frac{kJ}{kg.K}$$

$$V_1 = \frac{m_1RT}{P_1} = \frac{0.5 \times 0.29693 \times (303.15)}{150} = 0.30005 \ m^3$$

في الحالة النهائية داخل الإسطوانة :-

$$P_1V_2 = n_t\bar{R}T$$

n_t ← داخل الإسطوانة

$$n_t = n_{O_2} + n_{N_2}$$

هنا قمنا بوضع المعادلة على الصورة السابقة لأن الخليط هو من غازين مختلفين .

$$n_{N_2} = \frac{m}{M} = \frac{0.5}{28} = 0.017857 \ kmol$$

في الحالة الإبتدائية داخل الخزان :

$$P_1V = n_1\bar{R}T \Rightarrow n_1 = \frac{P_1V}{\bar{R}T} = \frac{250 \times 0.4}{8.314 \times 303.15} = 0.039677 \ kmol$$

في الحالة النهائية داخل الخزان :

$$P_2V = n_2\bar{R}T \Rightarrow n_2 = \frac{P_2V}{\bar{R}T} = \frac{150\times0.4}{8.314\times303.15} = 0.0238\ kmol$$

$$n_{air} = n_1 - n_2 = 0.039677 - 0.0238 = 0.015877\ kmol$$

$$\therefore n_t = 0.015877 + 0.017857 = 0.033734\ kmol$$

$$\therefore V_2 = \frac{n_t\bar{R}T}{P_1} = \frac{0.033734\times8.314\times303.15}{150}$$

$$\therefore V_2 = 0.56668\ m^3$$

$$\therefore {}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$$

$${}_1W_2 = 150(0.56668 - 0.30005) = 40.015\ kJ$$

---

[3] نفخ بالون بالهواء وفقاً للعلاقة $p = cv^{\frac{1}{3}}$ ، حيث $c = 100\ kPa/m$ من حجم إبتدائي $1m^3$ إلى حجم نهائي $3m^3$. أوجد كتلة الهواء في الحالة النهائية (مفترضاً أن درجة الحرارة $25^\circ C$) وأوجد الشغل المبذول من الهواء ؟

«Solution»

$$pV^{-\frac{1}{3}} = C \Rightarrow n = -\frac{1}{3}\ ,\ C = 100\ kPa/m\ ,\ V_1 = 1m^3$$

$$V_2 = 3m^3\ ,\ T_2 = 25^\circ C = 298.15\ K$$

$$\therefore P_2V_2 = mRT_2 \Rightarrow m_2 = \frac{P_2V_2}{RT_2}$$

$$P_2 = CV_2^{1/3} = 100(3)^{1/3} = 144.225\ kPa$$

$$\therefore m_2 = \frac{144.225 \times 3}{0.287 \times 298.15} = 5.0564\ kg$$

$$_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

$$P_1 = CV_1^{1/3} = 100(1)^{1/3} = 100\ kPa$$

$$_1W_2 = \frac{144.225 \times 3 - 100 \times 1}{1-(-\frac{1}{3})} = 249.5\ kJ$$

---

4 كتلة مقدارها 1.5kg من الهواء كانت في الحالة الإبتدائية عند 8bar وكتلة مقدارها 5kg من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) كانت في الحالة الإبتدائية عند 550k و 4bar وضعتا في حاويتين متماثلين داخل خزان جاسئ جيد العزل مفصولين بواسطة حاجز كما هو موضح بالشكل ، فإذا كان الحجم الكلي الذي يشغله الغازين هو $3m^3$. سمح للحاجز بالحركة وكذلك سمح للحرارة بالإنتقال بين الغازين

إلى أن وصلا لحالة الإتزان وعندها كانت درجة الحرارة 514.3 K

فإذا كان كل من الهواء وثاني أكسيد الكربون يسلكان سلوك الغاز المثالي فأوجد :-

1. درجة الحرارة الإبتدائية للهواء .
2. الضغط النهائي عند التوازن .
3. الحجم النهائي لكل من الهواء وثاني أكسيد الكربون عند الوصول لحالة التوازن .
4. أوجد الشغل المبذول بواسطة الهواء بفرض أن عملية تمدده تتم وفق العلاقة $pV^{\gamma} = C$.
5. أوجد الشغل المبذول إذا كان النظام يمثل الخزان .

« solution »

نرمز للهواء بالرمز (A) ، ثاني أكسيد الكربون (B)

A	B
Air $m = 1.5 kg$ $P = 8 bar$ $R = 0.287 \frac{KJ}{kg.k}$	CO_2 $m = 5 kg$ $P = 4 bar$ $T = 550 k$ $R = 0.189 \frac{KJ}{kg.k}$

$m_{A_1} = 1.5kg$, $P_{A_1} = 8bar$, $m_{B_1} = 5kg$, $T_{B_1} = 550K$

$P_{B_1} = 4bar$, $V_t = 1.5m^3$, $T_f = 514.3K$

في الحالة الإبتدائية للهواء :

$$P_{A_1} V_{A_1} = m_A R_A T_{A_1} \Rightarrow T_{A_1} = \frac{P_{A_1} V_{A_1}}{m_A R_A}$$

$$T_{A_1} = \frac{800 V_{A_1}}{1.5 \times 0.287} = 1858.304 V_{A_1} \quad \text{---} \quad (1)$$

في الحالة الإبتدائية لغاز أكسيد الكربون :

$$\because P_{B_1} V_{B_1} = m_B R_B T_{B_1}$$

$$\therefore V_{B_1} = \frac{m_B R_B T_{B_1}}{P_{B_1}} = \frac{5 \times 0.189 \times 550}{400} = 1.299375 m^3$$

$$\because V_t = V_{A_1} + V_{B_1} \Rightarrow V_{A_1} = V_t - V_{B_1}$$

$$V_{A_1} = 1.5 - 1.299375 = 0.200625 m^3$$

وبالتعويض في المعادلة (1) :

$$T_{A_1} = 1858.304 \times 0.200625 = 372.82K$$

$$T_{A_1} = 99.67^\circ C$$

في حالة التوازن تكون الضغوط متساوية حيث أنه في الأصل تحرك الهواء إتجاه ثاني أكسيد الكربون لأن ضغطه أكبر من ثاني أكسيد الكربون . وعليه :

$$P_{f_A} = P_{f_B}$$

$$\frac{m_A R_A T_f}{V_{f_A}} = \frac{m_B R_B T_f}{V_{f_B}}$$

$$\frac{1.5 \times 0.287}{V_{f_A}} = \frac{5 \times 0.189}{V_{f_B}}$$

$$\frac{V_{f_B}}{V_{f_A}} = 2.19512 \Rightarrow V_{f_B} = 2.19512 V_{f_A}$$

$$\therefore V_t = V_{A_f} + V_{B_f} = V_{A_f} + 2.19512 V_{f_A}$$

$$\therefore V_t = 3.19512 V_{f_A} \Rightarrow V_{f_A} = \frac{V_t}{3.19512}$$

$$V_{f_A} = \frac{1.5}{3.19512} = 0.4695 \, m^3$$

$$\therefore P_f = \frac{1.5 \times 0.287 \times 514.3}{0.4695} = 471.61 \, kpa$$

$$V_{f_B} = V_t - V_{f_A} = 1.5 - 0.4695 = 1.0305 \, m^3$$

الشغل المبذول من قبل الهواء:

$$,W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \frac{P_f V_{fA} - P_{A_1} V_{A_1}}{1-n}$$

أولاً، نقوم بحساب قيمة (n)

$$\because P_1V_1^n = P_2V_2^n \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$$

$$\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = n \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{800}{471.61}\right)}{\ln\left(\frac{0.4655}{0.200625}\right)}$$

$$n = \frac{0.528459}{0.85023} = 0.62155$$

$$\therefore ,W_2 = \frac{471.61 \times 0.4655 - 800 \times 0.200625}{1 - 0.62155}$$

$$\therefore ,W_2 = 160.975\ KJ$$

الشغل المبذول إذا كان النظام يمثل الخزان:

$$,W_2 = 0$$

[5] كمية من الهواء تمددت من ضغط 2bar إلى 0.9bar . العلاقة بين الضغط والحجم عند أي نقطة معطاة بـ $V=\sqrt{0.29-0.14P}$ حيث أن الحجم (V) بالمتر مكعب $[m^3]$ والضغط (P) بالبار [Bar]، فإذا علمت أن درجة الحرارة الإبتدائية للعملية كانت 70°C، احسب الشغل المبذول خلال هذه العملية بالكيلوجول؟

"Solution"

$$\because V=\sqrt{0.29-0.14P}$$

$$V^2=0.29-0.14P \Rightarrow 0.14P=0.29-V^2$$

$$\therefore P=\frac{0.29-V^2}{0.14}=2.07143-7.14286V^2$$

$$_1W_2=\int_{V_1}^{V_2} P\,dV=\int_{V_1}^{V_2}\left[2.07143-7.14286V^2\right]dV$$

$$_1W_2=\left[2.07143V-\frac{7.14286}{3}V^3\right]_{V_1}^{V_2}$$

$$_1W_2 = 2.07143(V_2 - V_1) - \frac{7.14286}{3}(V_2^3 - V_1^3)$$

$$V_1 = \sqrt{0.29 - 0.14 \times 2} = 0.1 m^3$$

$$V_2 = \sqrt{0.29 - 0.14 \times 0.9} = 0.405 m^3$$

لاحظ هنا أني استخدمت قيم الضغوط بال (bar) لأن العلاقة في هذه المسألة تربط بين الضغط [bar] و الحجم [m^3] كما ذكر.

$$\therefore {}_1W_2 = 2.07143(0.405 - 0.1) - \frac{7.14286}{3.}(0.405^3 - 0.1^3)$$

$$_1W_2 = 0.631786 - 0.155786 = 0.476 \text{ bar.} m^3$$

$$\therefore {}_1W_2 = 47.6 \text{ KJ}$$

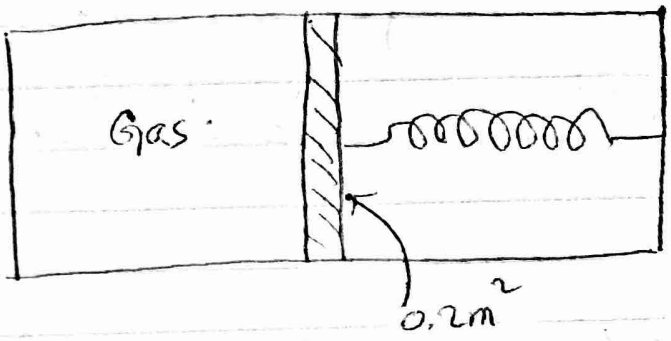
6 مكبس مساحة مقطعه $0.2 m^2$ وضع داخل إسطوانة مغلقة كما هو موضح بالشكل. ملء إحدى جانبي المكبس بواسطة غاز في حين يحتوي الجانب الآخر على نابض ضمن حيز مفرغ. تم تسخين الغاز بحيث تغير الغاز من 0.15MPa إلى 0.35MPa ، فإذا كان النابض خطي

وثابته $k=15^4 N/m$. أوجد

1 التغير في حجم الغاز بـ (m^3).

2 الشغل المبذول بواسطة الغاز بـ (KJ).

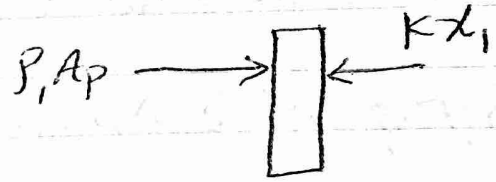
3 مخطط P-V للعملية.



« Solution »

$A_p = 0.2m^2$, $P_1 = 0.15MPa$, $P_2 = 0.35MPa$, $K = 15^4 N/m$

في الحالة الإبتدائية : « بإهمال كتلة البكبس »



$P_1A_p = Kx_1$

وأيضا في الحالة النهائية :

$P_2A_p = Kx_2$

$$P_1 A_p - P_2 A_p = K x_1 - K x_2$$

$$(P_1 - P_2) A_p = K (x_1 - x_2)$$

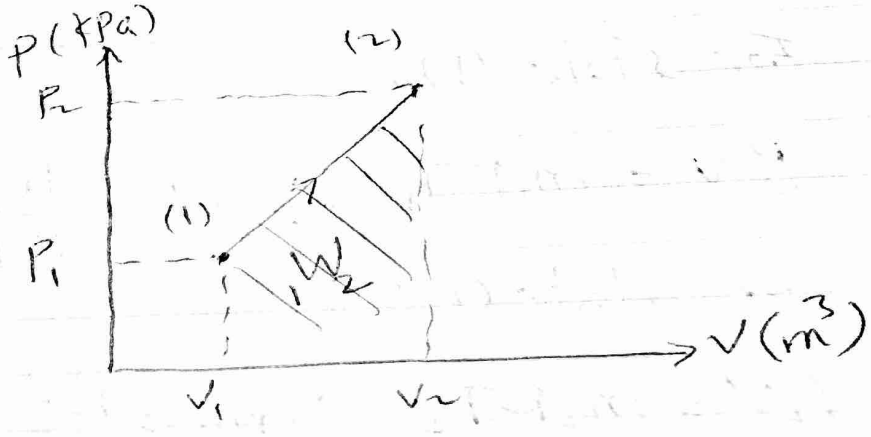
$$P_1 - P_2 = \frac{K}{A_p} (x_1 - x_2)$$

$$P_2 - P_1 = \frac{K}{A_p^2} (x_2 - x_1) A_p$$

$$P_2 - P_1 = \frac{K}{A_p^2} (V_2 - V_1) = \frac{K}{A_p^2} \Delta V$$

$$\therefore \Delta V = \frac{(P_2 - P_1) A_p^2}{K} = \frac{(350 - 150) \times 0.2^2}{10^4 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \Delta V = 0.8 m^3$$



$$_1W_2 = \frac{P_1+P_2}{2}(V_2-V_1) = \frac{P_1+P_2}{2}\Delta V$$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{350+150}{2} \times 0.8 = 200\ kJ$$

---

7 يحتوي خزان جاسئ على غاز الهيليوم عند 53°C و 100kPa، تم سحب 0.5kg من الغاز مما أدى إلى تغير قيمة الضغط ودرجة الحرارة إلى 300kPa و 37°C. أوجد:

1 حجم الخزان بالمتر المكعب.

2 كتلة الغاز الابتدائية.

«solution»

$T_1 = 53°C$, $P_1 = 100kPa$, $\Delta m = 0.5kg$, $P_2 = 300kPa$

$T_2 = 37°C$

For state (1):

$$P_1V = m_1RT_1 \Rightarrow m_1 = \frac{P_1V}{RT_1}$$

For state (2):

$$P_2V = m_2RT_2 \Rightarrow m_2 = \frac{P_2V}{RT_2}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0.5 = \frac{P_1 V}{RT_1} - \frac{P_2 V}{RT_2}$$

$$0.5 = \left(\frac{1000}{R \times (53+273.15)} - \frac{300}{R \times (37+273.15)} \right) V$$

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{4.003} = 2.07694 \ \frac{kJ}{kg.K}$$

(M) from Table (A1)

$$0.5 = (1.47624 - 0.46572)\, V$$

$$\therefore V = 0.4948 \ m^3$$

$$\therefore P_1 V = m_1 R T_1 \Rightarrow m_1 = \frac{P_1 V}{RT_1}$$

$$m_1 = \frac{1000 \times 0.4948}{2.07694 \times (53+273.15)} = 0.73045 \ kg$$

---

8 يقوم غازمثالي بثلاثة عمليات شبه متوازنة، الأولى تمدد عند ضغط ثابت، والثانية تمدد في عملية متعددة المسارات، والثالثة إنضغاط الضغط عندهم ثابت. أذكر مع التحليل كما إذا كان

الشغل موجباً أو سالباً أو صفراً. وضح إجابتك على مخطط p-v ؟

((solution))

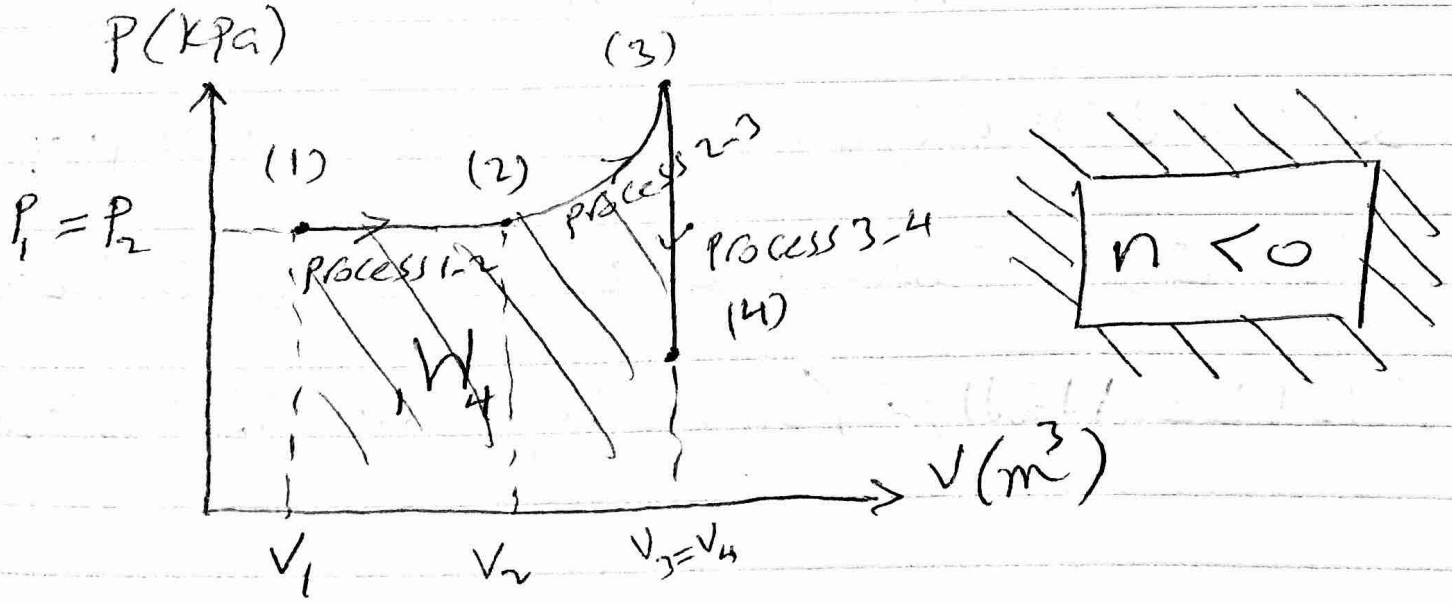
- process 1-2: تمدد عند ضغط ثابت
  أي أن $P_1 = P_2$ ، $V_2 > V_1$

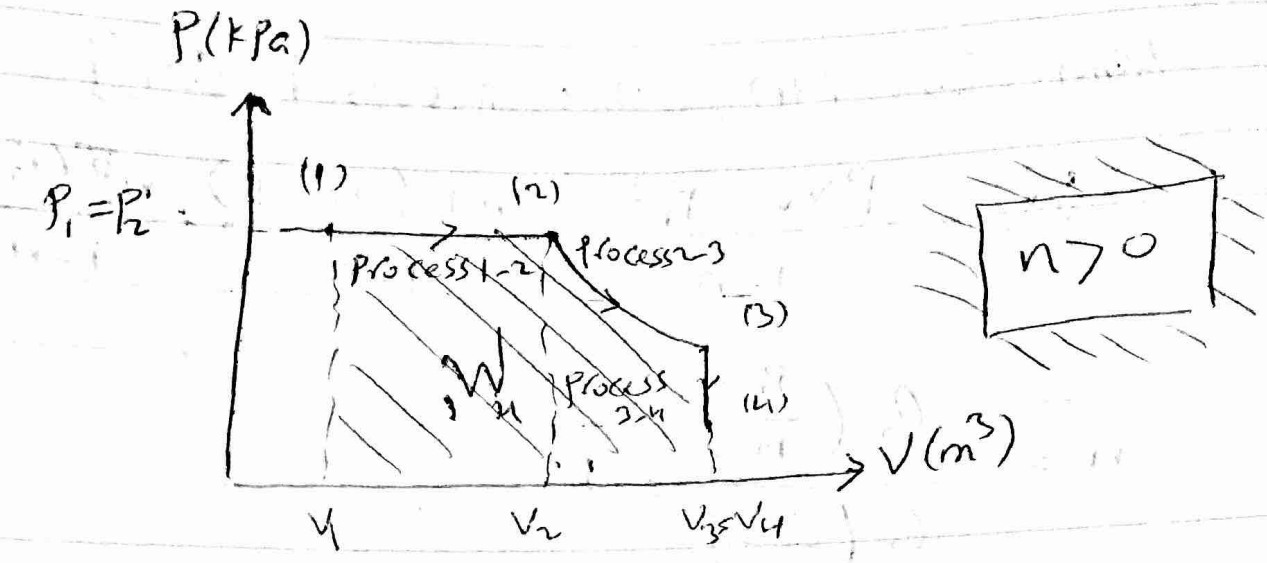
- process 2-3: تمدد في عملية متعددة المسارات
  أي أن $V_3 > V_2$

- process 3-4: انخفاض في الضغط عند حجم ثابت
  أي أن $P_4 < P_3$ ، $V_3 = V_4$

إذا كانت قيمة (n) موجبة فإن $P_2 < P_1$

أما إذا كانت (n) سالبة فإن $P_2 > P_1$





وعليه فإن الشغل المبذول يكون موجباً لأن $(V_4 > V_1)$.

---

[9] يحتوي جهاز إسطوانة ومكبس على 2kmol من غاز مثالي عند درجة حرارة 400°C، تم تبريد الجهاز في عملية شبه متزنة وفق العلاقة $PV^{1.2} = C$ إلى درجة حرارة المحيط وهي 20°C، إذا كانت كتلة الغاز 88kg فما هو هذا الغاز؟ أوجد الشغل المبذول؟

«Solution»

$n = 2\text{kmol}$, $T = 400 + 273.15 = 673.15\text{K}$, $PV^{1.2} = C$

$T_2 = 20 + 273.15 = 293.15\text{K}$, $m = 88\text{kg}$

$$\therefore n = \frac{m}{M} \Rightarrow M = \frac{m}{n} = \frac{88}{2} = 44\ \text{kg/kmol}$$

From Table (A1), This gas is [CO_2]

$$W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n} = \frac{n\bar{R}(T_2 - T_1)}{1-n}$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} = 1.2$$

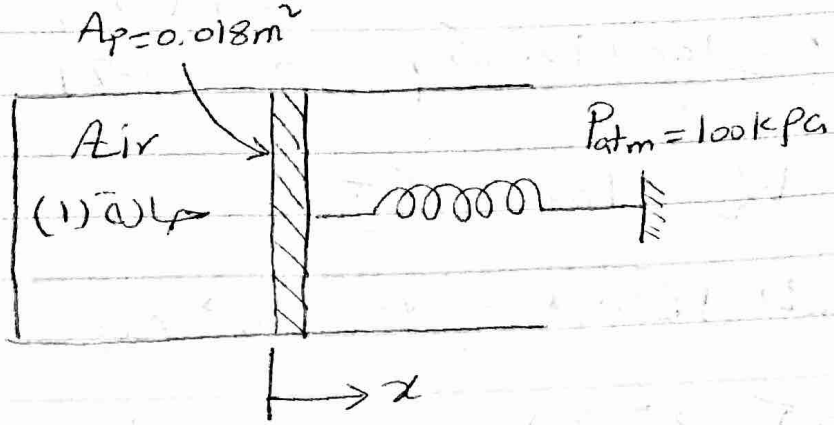
$$W_2 = \frac{.2 \times 8.314 (20 - 400)}{1 - 1.2} = 31593.2\,kJ$$

$$W_2 = 31.5932\,MJ$$

---

١٥ تحتجز إسطوانة بها مكبس لا إحتكاكي موضوعة أفقياً كما هو مبين على الشكل المرفق، كمية من الهواء عند حالة ابتدائية فيها الضغط داخل الإسطوانة يساوي 100kPa، و الحجم المحجوز بين الإسطوانة و المكبس يساوي $0.002m^3$ و القوة المبذولة من قبل المتابض عند هذه الحالة، أي عند $x=0$، تساوي صفراً. وكان الضغط الجوي يساوي 100kPa كما كانت المساحة المقطعية للمكبس تساوي $0.018m^2$. تمدد الهواء ببطء حتى أصبح حجمه يساوي $0.003m^3$

ويبذل النابض قوة F_{sp} على المكبس تتغير مع الإزاحة x طبقاً للعلاقة $F_{sp} = Kx$ ، حيث الثابت، $K = 16200 N/m$. أوجد الضغط النهائي للهواء داخل الإسطوانة، والشغل المبذول من قبل الهواء على المكبس. وعبر العملية على مخطط P-V ؟

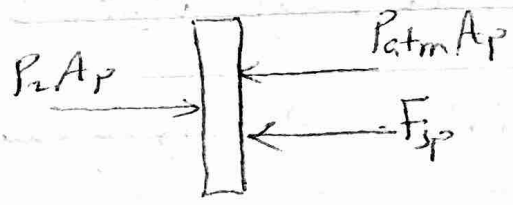


«Solution»

$P_1 = 100 kPa$, $V_1 = 0.002 m^3$, $P_{atm} = 100 kPa$, $A_p = 0.018 m^2$

$V_2 = 0.003 m^3$, $K = 16200 \frac{N}{m} = 16.2 kN/m$

For state (2):



$$P_2 A_p = P_{atm} A_p + F_{sp}$$

$$\therefore P_2 = P_{atm} + \frac{F_{sp}}{A_p} = P_{atm} + \frac{K \Delta x}{A_p^2} A_p$$

$$\therefore P_2 = P_{atm} + \frac{K}{A_p^2} \Delta V$$

$$P_2 = 100 + \frac{16.2}{0.018^2}(0.003-0.002)\times 10^{-3}$$

$$P_2 = 100.05\ kpa$$

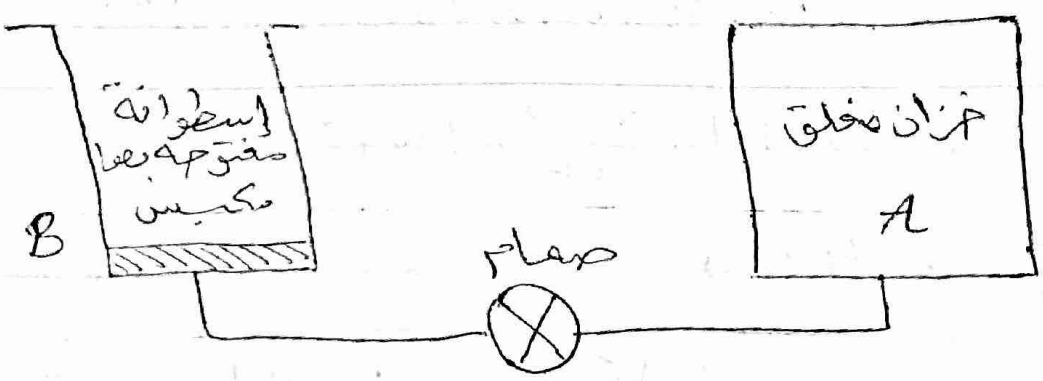
$$W_2 = \frac{P_1+P_2}{2}(V_2-V_1) = \frac{P_1+P_2}{2}\Delta V$$

$$W_2 = \frac{100+100.05}{2}(0.003-0.002) = 0.100025\ kJ$$

$$\therefore W_2 = 100.025\ J$$

---

11 يحتوي خزان مغلق حجمه $0.4m^3$ واطبين على الشكل المرفق على غاز الأكسجين عند ضغط 250kPa ودرجة حرارة 30°c. وكان هذا الخزان موصلاً إلى إسطوانة مفتوحة وبها مكبس لا إحتكاكي تحتاج كتلته إلى ضغط 150kPa داخل الإسطوانة لكي يرتفع المكبس إلى أعلى. فتح الصمام الواصل بين الخزان والإسطوانة ليسمح بتدفق الأكسجين إلى الإسطوانة حتى أصبح الأكسجين في حالة توازن عند ضغط 150kPa ودرجة حرارة 30°c. أوجد، بإفتراض أن الأكسجين غاز مثالي، الشغل المبذول من قبل الأكسجين أثناء العملية؟



"Solution"

$V_A = 0.4 m^3$, $P_{A_1} = 250 kpa$, $T_A = 30^\circ C$, $P_B = 150 kpa$

$P_{A_2} = 150 kpa$, $T_B = 30^\circ C$

$$W_2 = P_B (V_{B_2} - V_{B_1}) = P_B V_{B_2} = m_B R T$$

($V_{B_1} = 0$)

For State (1) inside The Tank:

$$m_1 = \frac{P_{A_1} V_A}{R T_A} = \frac{250 \times 0.4}{\frac{8.314}{32} \times (30 + 273.15)} = 1.2696 kg$$

$\therefore m_1 = 1.2696 kg$

For state (2) inside The Tank:

$$m_2 = \frac{P_{A_2} V_A}{R T_A} = \frac{150 \times 0.4}{\frac{8.314}{32} \times (30 + 273.15)}$$

$m_2 = 0.76179 kg$

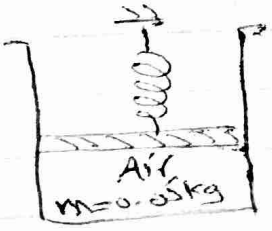
$$m_B = m_1 - m_2 = 1.2696 - 0.76179 = 0.50781\,kg$$

$$\therefore {}_1W_2 = 0.50781 \times \frac{8.314}{32} \times (30+273.15)$$

$${}_1W_2 = 40\,kJ$$

---

12 زودت الإسطوانة المبينة بالشكل المرفق بمكبس حركته مقيدة بواسطة نابض موصل بالمكبس. يلامس النابض المكبس دون أن يبذل عليه أي قوة عندما يكون المكبس في قاع الإسطوانة (أي عندما يكون الحجم يساوي صفر). وكانت قوة النابض تتناسب خطياً مع إزاحته، كما يمكن إهمال كتلة المكبس. ويصبح الحجم داخل الإسطوانة $0.06\,m^3$ عندما يصل المكبس إلى المصدات المبينة. وتحتوي الإسطوانة مبدئياً على $0.05\,kg$ من الهواء عند ضغط $120\,kPa$ ودرجة حرارة $50^\circ C$. سخن بعدها الهواء حتى أصبحت درجة حرارته $500^\circ C$. أوجد الضغط النهائي للهواء والشغل المبذول من قبل الهواء، إذا كان الضغط الجوي يساوي $100\,kPa$ وثابت الغاز للهواء يساوي $0.287\,\frac{kJ}{kg.K}$؟



$V_2 = 0.06 m^3$, $m = 0.05 kg$, $P_1 = 120 kpa$, $T_1 = 50°C$

$T_f = 500°C$, $P_{atm} = 100 kpa$, $R = 0.287 \ kJ/kg.K$

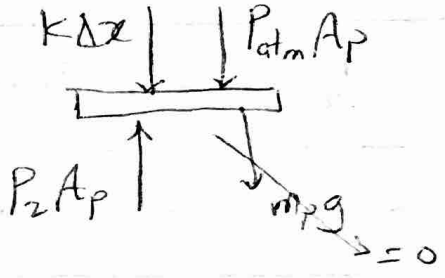
For final state :

$$P_f V_f = mRT_f$$

$$P_f = \frac{mRT_f}{V_f} = \frac{0.05 \times 0.287 \times (500+273.15)}{0.06}$$

$$\therefore P_f = 184.912 \ kpa$$

عندما يصل المكبس للاتزان يكون مجموع القوى كما يلي:



$$P_2 A_p = P_{atm} A_p + K \Delta x$$

$$P_2 = P_{atm} + \frac{K}{A_p} \Delta x$$

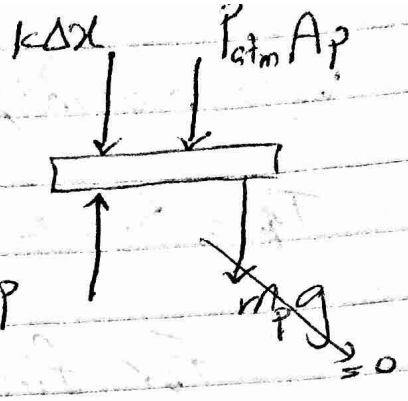
$$P_2 = P_{atm} + \frac{K}{A_p^2} \Delta V$$

For state (1):

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{0.05 \times 0.287 \times (50+273.15)}{120} = 0.03864 \ m^3$$

$$\therefore P_2 = 100 + \frac{K}{A_p^2} (0.06 - 0) \quad \text{---- (1)}$$

For state (1):



$$P_1 A_p = P_{atm} A_p + k\Delta x$$

$$k\Delta x = (P_1 - P_{atm}) A_p$$

$$\frac{k}{A_p^2}\Delta V = P_1 - P_{atm} \Rightarrow \frac{k}{A_p^2} = \frac{P_1 - P_{atm}}{\Delta V}$$

$$\frac{k}{A_p^2} = \frac{120 - 100}{0.03864 - 0} = 517.598 \ KN/m^3$$

وبالتعويض في المعادلة (1):

$$P_2 = 100 + 517.598\,(0.06 - 0\ \ :)$$

$$P_2 = 131.056 \ kPa$$

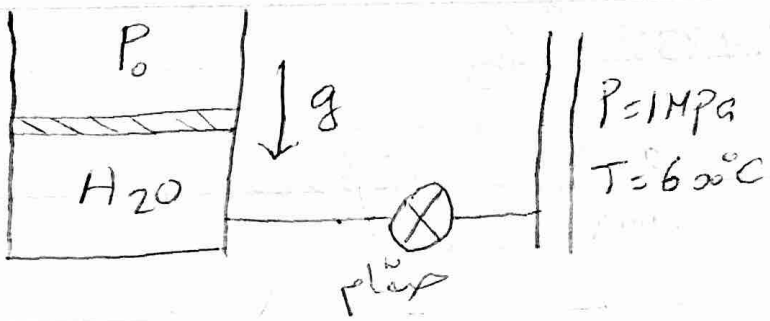
$$W_{net} = {}_1W_2 + {}_2W_f$$

${}_2W_f = 0 \leftarrow V = C$

$${}_1W_2 = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1) = \frac{120 + 131.056}{2}(0.06 - 0.03864)$$

$$\therefore {}_1W_2 = 2.681 \ KJ$$

13 إسطوانة بمكبس كما هو موضح بالشكل . تحتوي على ماء عند ضغط 200kPa وكسر جفاف $X=0.5$ وحجم $0.25m^3$. تم تسخين عند ضغط 1MPa و 600°C موصل بالإسطوانة عن طريق صمام . فتح الصمام فأخذ الحجم النهائي ثلاثة أضعاف لحجم الأصلي و $X=0.95$ قفل الصمام . احسب ، الكتلة الداخلة للإسطوانة ، الشغل ، الحرارة المنتقلة خلال هذه العملية ؟



« solution »

$P_1 = 200kPa$, $X_1 = 0.5$, $V_1 = 0.25m^3$, $P_i = 1MPa = 10^3 kPa$

$T_i = 600°C$, $V_2 = 3V_1 = 0.75m^3$, $X_2 = 0.95$

This process is (USUF)

$$m_2 - m_1 = \sum m_i - \underbrace{\sum m_e}_{=0}$$

$$m_2 - m_1 = m_i$$

For state (1):

$P_1 = 200 kPa$, $X_1 = 0.5$

From Table (A3): at $P = 200 kPa = 2 bar$

$v_f = 1.0605 \times 10^{-3} \, m^3/kg$, $v_g = 0.8857 \, m^3/kg$

$v_1 = v_f + x_1 (v_g - v_f)$

$v_1 = 1.0605 \times 10^{-3} + 0.5 (0.8857 - 1.0605 \times 10^{-3})$

$v_1 = 0.44338 \, m^3/kg$

$\therefore m_1 = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.25}{0.44338} = 0.56385 kg$

For state (2):

$P_2 = P_1 = 200 kPa$

$v_2 = v_f + X_2 (v_g - v_f)$

$v_2 = 1.0605 \times 10^{-3} + 0.95 (0.8857 - 1.0605 \times 10^{-3})$

$v_2 = 0.84147 \, m^3/kg$

$\therefore m_2 = \frac{V_2}{v_2} = \frac{0.75}{0.84147} = 0.8913 kg$

$\therefore m_i = m_2 - m_1 = 0.8913 - 0.56385$

$m_i = 0.32745\ kg$

$_1W_2 = p(V_2 - V_1)$

$_1W_2 = 200(0.75 - 0.25) = 100\ KJ$

$E_2 - E_1 = Q - W + \Sigma m_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) - \Sigma m_e\left(he + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$

($\frac{V_i^2}{2} = 0$, $gz_i = 0$, $\frac{V_e^2}{2} = 0$)

$\therefore U_2 - U_1 = Q - W + m_i h_i$

$m_2u_2 - m_1u_1 = Q - W + m_i h_i$

$\therefore Q = m_2u_2 - m_1u_1 + W - m_i h_i$

$u_1 = u_f + x_1(u_g - u_f)$

$u_f = 504.49\ \frac{KJ}{kg}$, $u_g = 2529.5\ KJ/kg$

$u_1 = 504.49 + 0.5(2529.5 - 504.49)$

$\therefore u_1 = 1516.995\ KJ/kg$

$u_2 = 504.49 + 0.95(2529.5 - 504.49)$

$\therefore u_2 = 2428.2495\ KJ/kg$

$P_i = 10^3$ kPa , $T_i = 600^\circ C$

From Table (A4):

$h_i = 3697.9$ kJ/kg

$\therefore Q = 0.8913 \times 2428.2495 - 0.56385 \times 1516.995$

$+ 100 - 0.32745 \times 3697.9 = 198$ kJ

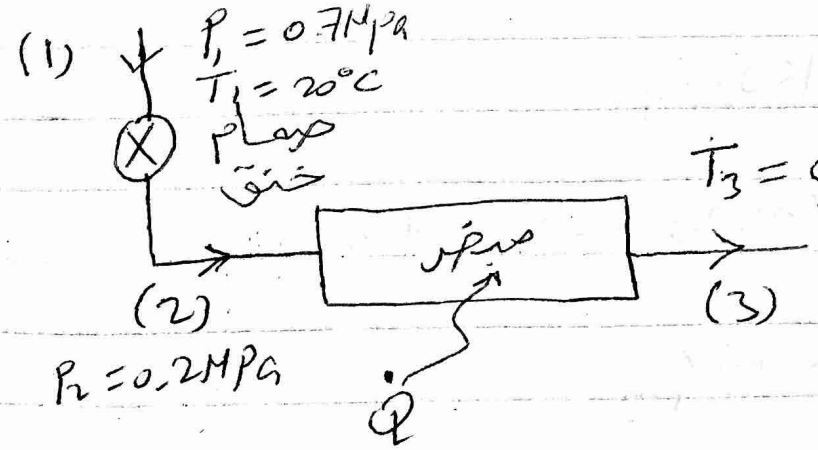
---

14 تدخل مادة التبريد R134-a إلى صمام دورة تبريد البخار المضغوط عند 0.7MPa و 20°C بمعدل 0.3kg/s ويخرج عند 0.2MPa فإذا كانت مادة التبريد تخرج من المبخر عند 0°C.

أ) أوجد طور مادة التبريد عند الدخول للمبخر ؟

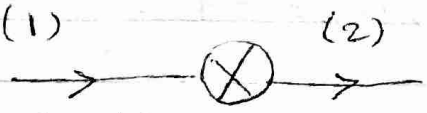
ب) مقدار الإنخفاض في درجة الحرارة في الصمام ؟

ج) معدل الإنتقال الحراري بـ (kW) ؟



« Solution »

This process is (SSSF)



$P_1 = 0.74 MPa$ $P_2 = 0.2 MPa$

$T_1 = 20°C$

Mass Balances $\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$

$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

Energy Balance:

$$\cancel{\dot{Q}} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \cancel{\dot{W}} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\Sigma \dot{m}_i h_i = \Sigma \dot{m}_e h_e$$

$$\therefore h_i = h_e \Rightarrow h_1 = h_2$$

From Table (A10):

at $T = 20°C \Rightarrow P_{sat} = 5.716 bar = 571.6 kPa$

$\therefore P_1 = 740 kPa > P_{sat}$

∴ state is Compressed Liquid

$\therefore h_1 = h_{f@T=20°C} = 77.26 \ kJ/kg$

$\therefore h_2 = h_1 = 77.26 \text{ kJ/kg}$

$P_2 = 0.2 MPa = 2 bar$, $h_2 = 77.26 \text{ kJ/kg}$

From Table (A11):

at $P_2 = 2 bar$, $h_f = 36.84 \frac{kJ}{kg}$, $h_g = 241.3 kJ/kg$

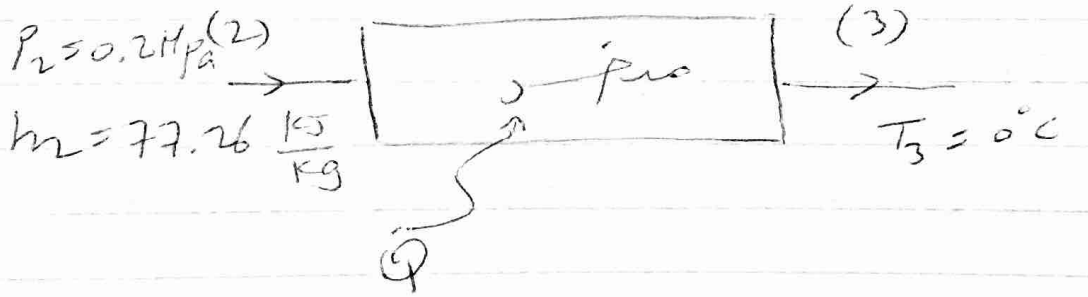
$\therefore \quad h_f < h_2 < h_g$

$\therefore$ State is saturated Mixture (Liquid + Vapor)

$T_2 = T_{sat} = -10.09°C$

$\therefore \Delta T = T_1 - T_2 = 20 - (-10.09)$

$\Delta T = 30.09 °C$



$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \cancel{\frac{V_i^2}{2}}^{=0} + \cancel{gz_i}^{=0}\right) = \cancel{\dot{W}}^{=0} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \cancel{\frac{V_e^2}{2}}^{=0} + \cancel{gz_e}^{=0}\right)$$

$$\dot{Q} + \dot{m} h_2 = \dot{m} h_3 \Rightarrow \dot{Q} = \dot{m} (h_3 - h_2)$$

$$h_3 = h_{g\,@T=0^\circ C} = 247.23 \frac{kJ}{kg}$$

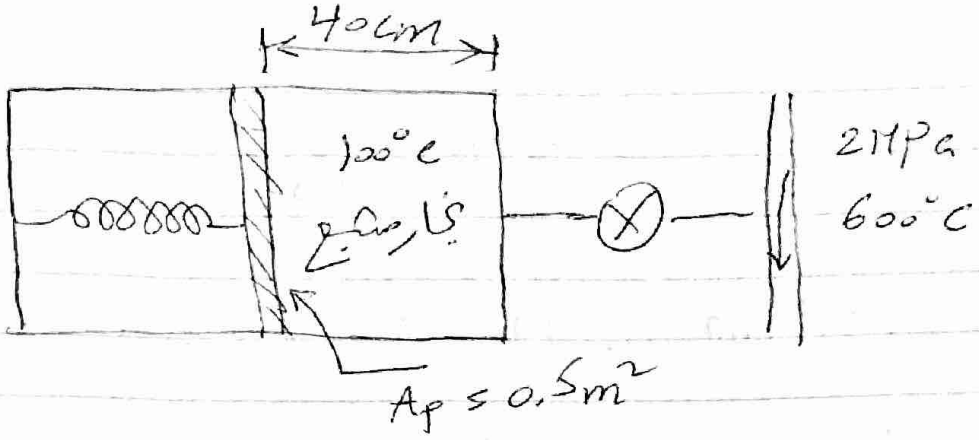
$$\therefore \dot{Q} = 0.3(247.23 - 77.26) = 50.991\ kW$$

---

15 تحتوي الأسطوانة الأفقية الموضحة بالرسم على ماء في حالة بخار مشبع عند درجة حرارة 100°C مجهز بمكبس متحرك بتأثير خطي داخل حيز مفرغ من الناحية اليسرى كما هو موضح بالرسم، ومتصل من الناحية الأخرى بصمام يصل الإسطوانة بخط أنبوب يجري فيه بخار عند ضغط ثابت 2MPa ودرجة حرارة 600°C. فتح الصمام لكي يسمح للبخار بالتدفق داخل الإسطوانة حتى أصبح الحجم ضعف الحجم الإبتدائي وعندها كانت درجة الحرارة 200°C والضغط 6bar.

أوجد:

1. كتلة البخار المتدفقة للإسطوانة؟
2. الشغل المتولد بواسطة البخار خلال العملية؟
3. الحرارة المستخلصة عبر الإسطوانة أثناء العملية؟



«solution»

$T_1 = T_{sat} = 100^\circ C$, $P_i = 21MPa = 2000kPa$, $T_i = 600^\circ C$

$T_2 = 200^\circ C$, $P_2 = 6bar = 600kPa$, $V_2 = 2V_1$

This process is (USUF)

$$m_2 - m_1 = \sum m_i - \cancel{\sum m_e}^{=0}$$

$$m_2 - m_1 = m_i$$

For state (1):

$$V_1 = 0.4 \times 0.5 = 0.2m^3$$

$$v_1 = v_g = 1.673\ m^3/kg \quad , u_1 = u_g = 2506.5\ KJ/kg$$

$$m_1 = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.2}{1.673} = 0.11955\ kg$$

for state (2):

$V_2 = 2V_1 = 2 \times 0.2 = 0.4\ m^3$

From Table (A2):

at $T = 200^\circ C \Rightarrow P_{sat} = 15.54\ bar = 1554\ kpa$

$\therefore P_2 < P_{sat}$

$\therefore$ state is superheated Vapor

From Table (A4):

5 bar	$2642.9\ \frac{KJ}{kg}$	$2855.4\ \frac{KJ}{kg}$	$0.4249\ m^3/kg$
6 bar	u_2	h_2	v_2
7 bar	$2634.8\ \frac{KJ}{kg}$	$2844.8\ \frac{KJ}{kg}$	$0.2999\ m^3/kg$

$v_2 = 0.3624\ m^3/kg$

$u_2 = 2638.85\ KJ/kg$

$h_2 = 2850.1\ KJ/kg$

$\therefore m_2 = \frac{V_2}{v_2} = \frac{0.4}{0.3624} = 1.10375\ kg$

$m_i = m_2 - m_1 = 1.10375 - 0.11955 = 0.9842\ kg$

$$_1W_2 = \frac{P_1+P_2}{2}(V_2-V_1) \quad , P_1 = P_{sat} = 1.014\,bar = 101.4\,kPa$$

$$_1W_2 = \frac{101.4+600}{2}(0.4-0.2) = 70.14\,kJ$$

$$Q - W + \Sigma m_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) - \Sigma m_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) = E_2 - E_1$$

($\frac{V_i^2}{2} = 0$, $gz_i = 0$, $\frac{V_e^2}{2} = 0$)

$$m_2u_2 - m_1u_1 = Q - W + m_ih_i \quad , h_i = 3690.1\ kJ/kg$$

$$Q = m_2u_2 - m_1u_1 + W - m_ih_i$$

$$Q = 1.10375 \times 2638.85 - 0.11955 \times 2506.5 + 70.14 - 0.9842 \times 3690.1$$

$$Q = -348.678\,kJ$$

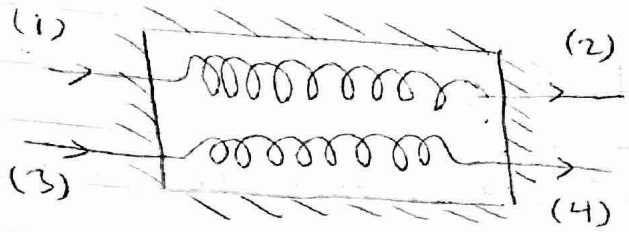
أي أنه فقدت كمية من الحرارة مقدارها 348.678kJ من المجموعة.

16] يدخل بخار ماء إلى مبادل حراري بمعدل 5000 kg/h عند ضغط 1.4MPa ودرجة حرارة 300°C ويخرج منه عند 1.4MPa، 150°C. يتبادل الحرارة مع الهواء الذي يدخل إلى المبادل الحراري عند درجة حرارة 20°C ويخرج منه عند درجة حرارة 40°C. بفرض أن المبادل الحراري كاظم للحرارة. أوجد معدل تدفق الهواء؟

"solution"

$\dot{m} = \frac{5000}{60 \times 60} = 1.3889$ kg/s , $P_1 = 1.4$ MPa, $T_1 = 300°C$

$T_2 = 150°C$, $P_2 = 1.4$ MPa , $T_3 = 20°C$, $T_4 = 40°C$



Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{\text{steam}} = 1.3889 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{H_2O}$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

($\dot{Q} = 0$, $\frac{V_i^2}{2} = 0$, $g z_i = 0$, $\dot{W} = 0$, $\frac{V_e^2}{2} = 0$, $g z_e = 0$)

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

$$1.3889 h_1 + \dot{m}_{H_2O_3} h_3 = 1.3889 h_2 + \dot{m}_{H_2O} h_4$$

From Table (A2):

at $T_1 = 300^\circ C \Longrightarrow P_{sat} = 85.81 \text{ bar} = 8.581 \text{ MPa}$

$\therefore P_1 < P_{sat}$

-- state is superheated vapor

From Table (A4):

1 MPa	$h' = 3051.05 \text{ KJ/kg}$	
1.4 MPa	h_1	
1.5 MPa	$h'' = 3037.3 \text{ KJ/kg}$	
280 °C	3008.2 KJ/kg	2992.7 KJ/kg
300 °C	h'	h''
320 °C	3093.9 KJ/kg	3081.9 KJ/kg

$h' = 3051.05 \frac{KJ}{kg}$, $h'' = 3037.3 \text{ KJ/kg}$

$\therefore h_1 = 3040.05 \text{ KJ/kg}$

From Table (A2):

at $T_2 = 150°C \Rightarrow P_{sat} = 4.758\ bar = 0.4758\ MPa$

$\because P_2 > P_{sat}$

$\therefore$ state is Compressed Liquid

$h_2 = h_{f@T_2=150°C} = 632.2\ KJ/kg$

$h_3 = h_{f@T_3=20°C} = 83.96\ KJ/kg$

$h_4 = h_{f@T_4=40°C} = 167.57\ KJ/kg$

$\therefore 1.3889 \times 3040.05 + \dot{m}_{H_2O} \times 83.96 = 1.3889 \times 632.2 + \dot{m}_{H_2O} \times 167.57$

$4222.325 + 83.96\,\dot{m}_{H_2O} = 878.06258 + 167.57\,\dot{m}_{H_2O}$

$(167.57 - 83.96)\,\dot{m}_{H_2O} = 4222.325 - 878.06258$

$\dot{m}_{H_2O} = 40\ kg/s$

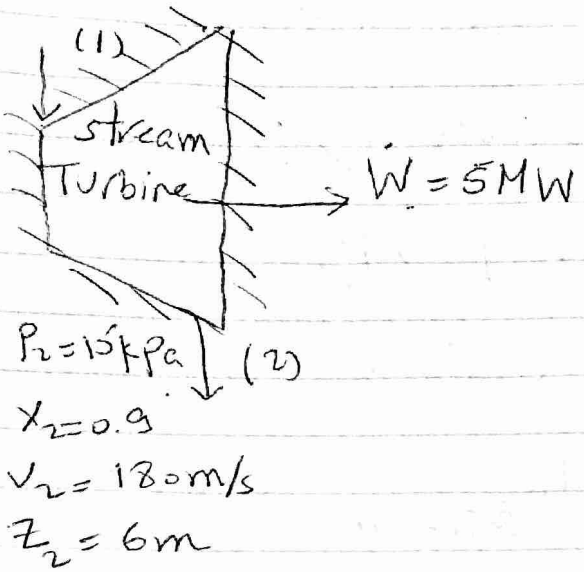
[17] للشكل الموضح، إذا علمت أن التوربين البخاري كان ظم للحرارة. فاحسب معدل تدفق الكتلة؟ احسب أيضاً مساحة المقطع عند الدخول والخروج؟

$P_1 = 2\,MPa$

$T_1 = 380°C$

$V_1 = 50\,m/s$

$Z_1 = 10\,m$



$X_2 = 0.9$

$V_2 = 180\,m/s$

$Z_2 = 6\,m$

« Solution »

Mass Balance: $\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right)$$

$\dot{Q} = 0$

$$\dot{m}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{W} + \dot{m}\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right)$$

$$\dot{W} = \dot{m}\left(h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + g(Z_i - Z_e)\right)$$

$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = h_1 - h_2 + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g(Z_1 - Z_2)$$

From Table (A4):

360°C	3159.3 KJ/kg
380°C	h_1
400°C	3247.6 KJ/kg

$$h_1 = 3203.45 \frac{KJ}{kg}$$

From Table (A3):

at $P_2 = 15 KPa = 0.15 bar$

0.1 bar	191.83 $\frac{KJ}{kg}$	2584.7 KJ/kg
0.15 bar	h_f	h_g
0.2 bar	251.40 $\frac{KJ}{kg}$	2609.7 KJ/kg

$$h_f = 221.615 \frac{KJ}{kg}, \quad h_g = 2597.2 \frac{KJ}{kg}$$

$$\therefore h_2 = h_f + x_2 (h_g - h_f)$$

$$\therefore h_2 = 221.615 + 0.9 (2597.2 - 221.615)$$

$$h_2 = 2359.6415 \frac{KJ}{kg}$$

$$W = 3203.45 - 2359.641 + \frac{(50)^2 - (180)^2}{2000} + \frac{9.81}{1000}(10-6)$$

$$W = 828.8977 \ KJ/kg$$

$$\therefore W = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{W}}{W} = \frac{5000}{828.8977}$$

$$\therefore \dot{m} = 6.032 \ kg/s$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{A_i V_i}{v_i} = \frac{A_e V_e}{v_e}$$

$$\therefore A_i = \frac{\dot{m} v_1}{V_1} \quad \& \quad A_e = \frac{\dot{m} v_2}{V_2}$$

من الجداول نقوم بإيجاد v_1 و v_2 وبالتعويض المباشر نتحصل على مساحة المقطع عند الدخول (A_i) ومساحة المقطع عند الخروج (A_e).

محمد لينة لزرق

القانون الثاني للديناميكا الحرارية
Second law of Thermodynamics

لقد تحدثنا في السابق عن القانون الأول للديناميكا الحرارية والذي ينص على مبدأ الحفاظ على الطاقة، أما القانون الثاني للديناميكا الحرارية فإنه ينص على أن العمليات تحدث في إتجاه معين كما أن للطاقة لها جودة وكمية.

ولا يمكن لأي عملية أن تتحقق مالم تتوافق مع القانونين (الأول والثاني للديناميكا الحرارية).

وهناك أمثلة كثيرة لعمليات تتوافق مع أحد القانونين ولا تتوافق مع الآخر، فعند وضع فنجان القهوة الساخن في مكان بارد فإنه سيبرد نتيجة إنتقال الحرارة إلى المحيط المجاور ولا يمكن لهذه الطاقة أن ترجع إلى الفنجان بدون عمل خارجي وهذا دليل على أن العمليات تحدث في إتجاه معين فرجوع الطاقة إلى الفنجان يتوافق مع القانون الأول ولكنه

لا يتوافق مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

* خزانات الطاقة الحرارية (Thermal Energy Reservoir):

خزانات الطاقة الحرارية هي عبارة عن خزانات بسعة حرارية كبيرة نسبياً بحيث إذا فقد هذا الخزان أو إكتسب كمية من الحرارة فإن ذلك لن يغير في درجة حرارته.

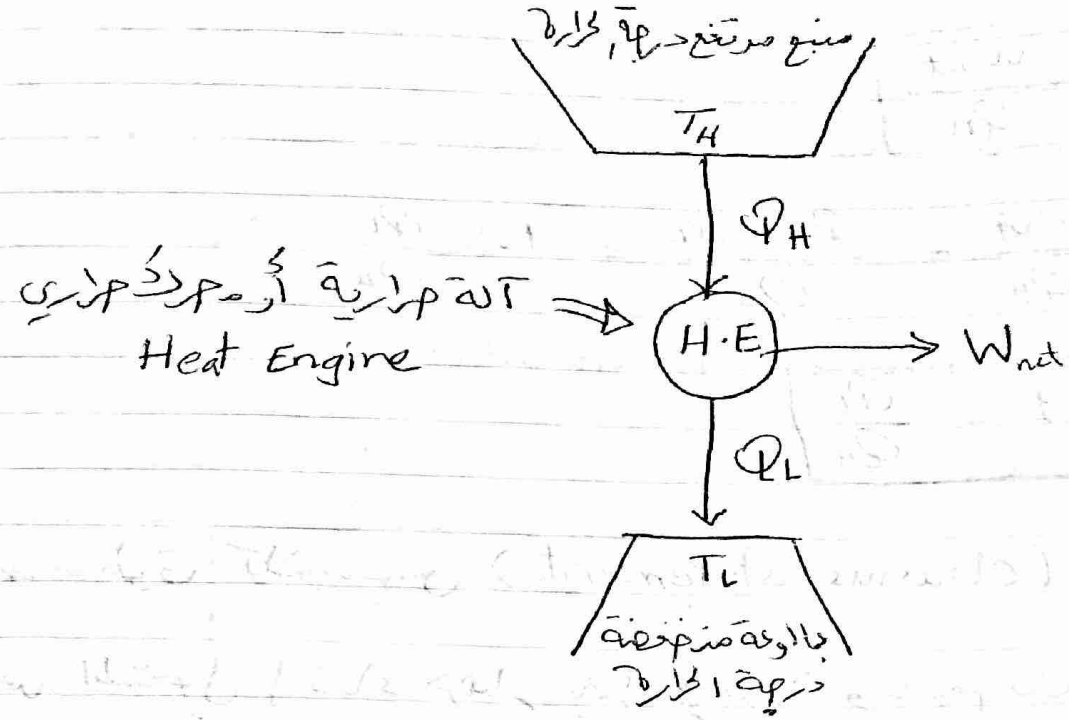
أي أن الخزانات الحرارية تكون درجة حرارتها ثابتة ($T=C$).

- إذا كان الخزان الحراري يزود المنظومات بالطاقة الحرارية فإنه يسمى مصدر أو منبع (source)، أما إذا كان الطاقة الحرارية تنتقل من المنظومات إلى الخزان الحراري فإنه يسمى أحياناً بالبالوعة (sink).

* منطوق كلفن-بلانك (kelvin-plank statement):

من المستحيل إنشاء منظومة تشتغل في دورة وتتبادل مع كمية من الحرارة من حوض حراري مرتفع درجة الحرارة وتحويل كامل هذه الطاقة إلى شغل بدون نبذ طاقة. بمعنى آخر من المستحيل

أن تكون الكفاءة الحرارية 100%.



ينص قانون كلفن-بلانك على أن Q_L من المستحيل أن تكون مساوية للصفر أي أن $(Q_L \neq 0)$ وبالتالي فإن الكفاءة الحرارية لن تكون 100%.

ومن القانون الأول للديناميكا الحرارية فإن:

$$Q_H = W_{net} + Q_L \quad (kJ)$$

or

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_{net} + \dot{Q}_L \quad (kW)$$

وتكون الكفاءة الحرارية هي:

$$\eta_{Th} \triangleq \frac{\text{desired output}}{\text{required input}}$$

$$\boxed{\eta_{Th} = \frac{W_{net}}{Q_H}}$$

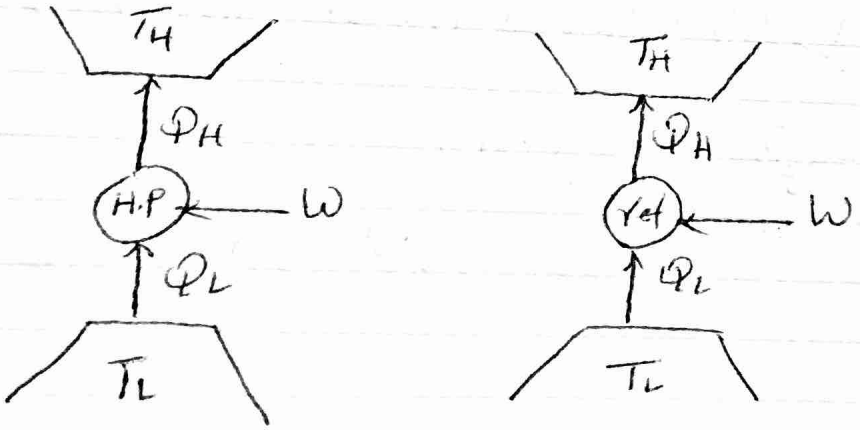
$$\eta_{Th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\boxed{\eta_{Th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

* منطوق كلاوسيوس (Clausius statement):

من المستحيل إنشاء جهاز يعمل في دورة ويقوم بنقل الطاقة الحرارية من مكان بارد إلى مكان ساخن بدون بذل شغل.

وكمثال على ذلك الثلاجات (refrigerators) و, المضخات الحرارية (heat pumps) التي تحتاج إلى شغل لكي تقوم بالعمل الذي صممت من أجله.



نلاحظ من المخططين السابقين أن فكرة عمل الثلاجة والمضخة الحرارية هي نفسها غير أن في الثلاجة الوسط الذي نهتم به هو الوسط البارد (T_L)، أما في المضخة الحرارية فإن الذي يهمنا هو الوسط الساخن (T_H).

* معامل الأداء (coefficient of performance):-

يكون معامل الأداء للثلاجة كالتالي:

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{W}$$

لأن المستخلص هنا هو Q_L

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

وبقسمة البسط والمقام على Q_L فإن:

$$COP_{ref} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

أما معامل الأداء للمضخة الحرارية فإنه يحسب كالتالي:-

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W}$$

ركن المستخدم هنا هو Q_H

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

وبقسمة الطرفين على Q_H فإن:

$$COP_{HP} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

- ملاحظة :-

1 سمي بمعامل الأداء ولم يسمى بالكفاءة لأن قيمته تتعدى الواحد الصحيح (1).

2 يجيب ملاحظة التالي:

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_L + W}{W} = \frac{Q_L}{W} + 1$$

$$\therefore COP_{HP} = COP_{ref} + 1$$

* العمليات الإنعكاسية و العمليات اللاإنعكاسية :

يمكن تعريف العمليات الإنعكاسية (reversible process) بأنها العمليات التي يمكن إنعكاسها دون ترك أي أثر في المحيط المجاور. بمعنى أن المنظومة و المحيط المجاور لها يعودان إلى حالتهما الإبتدائية دون ترك أي أثر. العمليات الإنعكاسية هي عمليات مثالية. تحدث إذا كانت جميع المسببات للانعكاسية غير موجودة وبالتالي فإن جميع العمليات الحقيقية تكون عمليات لاإنعكاسية نظراً عدم إمكانية التخلي عن مسببات اللاإنعكاسية ومنها [1] الإحتكاك [2] إنتقال الحرارة عبر فرق محدد في درجة الحرارة [3] التشوه اللدن (اللدن) [4] الخلط بين المواد . وغيرها.

- ملاحظة :

هناك نوعان من العمليات الإنعكاسية :=>

[1] العمليات الإنعكاسية داخلياً (internally reversible) .

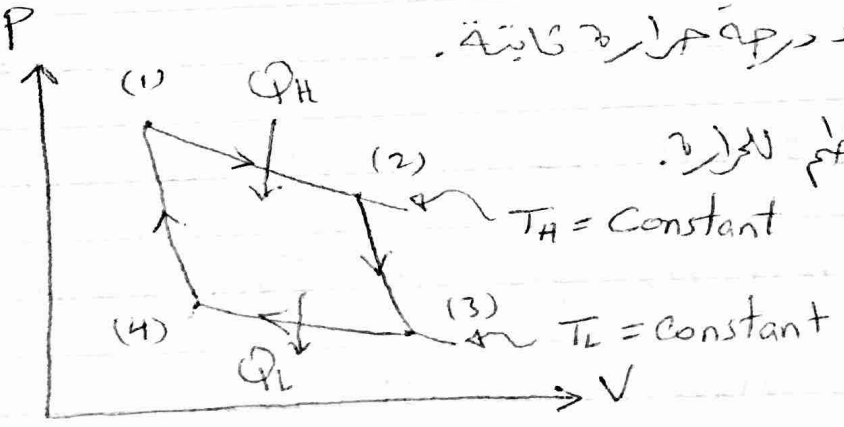
وتحدث هذه العملية إذا لم تكن هناك لا إنعكاسيات

داخل حدود المنظومة.

2. العمليات الإنعكاسية خارجياً (externally reversible):
وتحدث عندما لا تكون هناك لا إنعكاسية خارج حدود المنظومة.

* دورة كارنو (Carnot cycle):-
وهي دورة مثالية خالية من جميع مسببات اللاإنعكاسية إقترحها الفرنسي كارنو. وتتكون من أربعة عمليات إنعكاسية: إثنان منهما عند ثبوت درجة الحرارة و الأخريان كاظمتان للحرارة، وتكون العمليات كالتالي:

1. تمدد إنعكاسي عند ثبوت درجة الحرارة.
2. تمدد إنعكاسي كاظم للحرارة.
3. إنضغاط إنعكاسي عند درجة حرارة ثابتة.
4. إنضغاط إنعكاسي كاظم للحرارة.



((خارطة P-V لدورة كارنو))

لدورة كارنو، وجد أن:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

وعليه فإن الكفاءة الحرارية للمحرك الحراري (Heat engine):

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

ويكون معامل الأداء للثلاجة (refrigerator):

$$COP_{ref,rev} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

ومعامل الأداء للمضخة الحرارية (heat pump):-

$$COP_{HP,rev} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

ملاحظة: يجب أن تكون وحدة درجات الحرارة هي الكلفن (K).

« مسائل متنوعة »

1 محطة قدرة بخارية سعتها 500MW ، تبرد بواسطة ماء البحر لها كفاءة حرارية تساوي 40% . أوجد المعدل الزمني لإنتقال الحرارة إلى ماء البحر . هل المعدل الزمني الفعلي لإنتقال الحرارة أعلى أو أقل من هذه القيمة ؟ أذكر السبب .

« solution »

$$\dot{W} = 500\,MW, \quad \eta_{th} = 40\% = 0.4$$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{\dot{W}}{\eta_{th}} = \frac{500}{0.4} = 1250\,MW$$

$$\therefore \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}$$

$$\dot{Q}_L = 1250 - 500 = 750\,MW$$

يكون المعدل الزمني الفعلي لإنتقال الحرارة إلى ماء البحر أعلى من هذه القيمة لأنه فعلياً توجد العديد من مسببات اللاإنعكاسية التي تضعف من كفاءة هذه المحطة .

لدورة كارنو، وجد أن:

$$\boxed{\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}}$$

وعليه فإن الكفاءة الحرارية للمحرك الحراري (Heat engine):

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

ويكون معامل الأداء للثلاجة (refrigerator):

$$COP_{ref,rev} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

ومعامل الأداء للمضخة الحرارية (heat pump):

$$COP_{HP,rev} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

ملاحظة: يجب أن تكون وحدة درجات الحرارة هي الكلفن (K).

« مسائل متنوعة »

1 محطة قدرة بخارية سعتها 500MW ، تبرد بواسطة ماء البحر لها كفاءة حرارية تساوي 40% . أوجد المعدل الزمني لإنتقال الحرارة إلى ماء البحر . هل المعدل الزمني الفعلي لإنتقال الحرارة أعلى أو أقل من هذه القيمة ؟ أذكر السبب .

« solution »

$$\dot{W} = 500\,MW, \quad \eta_{th} = 40\% = 0.4$$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{\dot{W}}{\eta_{th}} = \frac{500}{0.4} = 1250\,MW$$

$$\therefore \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}$$

$$\dot{Q}_L = 1250 - 500 = 750\,MW$$

يكون المعدل الزمني الفعلي لإنتقال الحرارة إلى ماء البحر أعلى من هذه القيمة لأنه فعلياً توجد العديد من مسببات اللاإنعكاسية التي تضعف من كفاءة هذه المحطة .

[2] محرك سيارة ينتج قدرة 100kW لها كفاءة حرارية تساوي 30%. أوجد المعدل الزمني لإستهلاك الوقود إذا كانت القيمة الحرارية للوقود تساوي 44000 kJ/kg ؟

«Solution»

$\dot{W} = 100\,kW$, $\eta_{th} = 30\% = 0.3$, $q_H = 44000\ \frac{kJ}{kg}$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{\dot{W}}{\eta_{th}} = \frac{100}{0.3} = 333.33\,kW$$

$$\therefore q_H = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{m}} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{Q}_H}{q_H} = \frac{333.33}{44000}$$

$$\therefore \dot{m} = 7.5757 \times 10^{-3}\ \frac{kg}{s} = 7.5757\ g/s$$

---

[3] يستهلك محرك سيارة وقوداً عند معدل 20 L/h وينتج قدرة مقدارها 60kW. فإذا كانت القيمة الحرارية للوقود تساوي 44000 $\frac{KJ}{Kg}$ وكثافة الوقود تساوي 0.8 g/cm^3 ، أوجد كفاءته الحرارية؟

«Solution»

$$\dot{V} = 20\,\frac{L}{h} = \frac{20\times10^{-3}}{3600}\,\frac{m^3}{s} = 5.5556\times10^{-6}\ m^3/s$$

$\dot{W} = 60\,kW$, $q_H = 44000\ \frac{kJ}{kg}$, $\rho = 0.8\ g/cm^3$

$$\therefore \rho = 0.8\ \frac{g}{cm^3} = 800\ \frac{kg}{m^3} \Rightarrow v = \frac{1}{\rho} = 1.25\times10^{-3}\ m^3/kg$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{5.5556\times10^{-6}}{1.25\times10^{-3}} = 4.444448\times10^{-3}\ kg/s$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m} q_H = 4.444448\times10^{-3}\times 44000 = 195.557\ kW$$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{60}{195.557} = 0.3068 = 30.68\,\%$$

---

[4] تستخدم مضخة حرارية لتدفئة منزل لها معامل أداء يساوي 2.5. أي أنها تنتج 2.5kWh من الطاقة الحرارية لتدفئة المنزل لكل 1kWh من الكهرباء التي تستهلكها. هل هذا اختراق للقانون الأول للديناميكا الحرارية؟ إشرح إجابتك.

«solution»

$COP_{HP} = 2.5$, $Q_H = 2.5\,kWh$, $W = 1\,kWh$

لا يعد هذا اختراق للقانون الأول للديناميكا الحرارية، لأن هذه الطريقة سوف تسحب كمية من الحرارة مساوية لـ Q_L وهي ($Q_L = Q_H - W = 1.5 kWh$). وحيث أن القانون الأول للديناميكا الحرارية يهتم بموازنة الطاقات، فلن يكون ذلك اختراقاً مادام ($Q_H = W + Q_L$).

---

5 تنزيل ثلاجة منزلية معامل أدائها 1.8 حرارة من غرفة التبريد عند معدل زمني يساوي 90 KJ/min. أوجد ① القدرة الكهربائية التي تستهلكها الثلاجة ② المعدل الزمني لإنتقال الحرارة إلى هواء المطبخ.

"Solution"

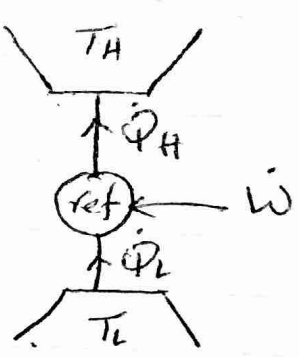
$$COP_{ref} = 1.8 \quad , \quad \dot{Q}_L = 90 \frac{KJ}{min} = \frac{90}{60} KW = 1.5 KW$$

$$\therefore COP_{ref} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}}$$

$$\therefore \dot{W} = \frac{\dot{Q}_L}{COP_{ref}} = \frac{1.5}{1.8} = 0.833 KW$$

$$\dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L = 0.833 + 1.5 = 2.333 KW$$

$$= 140 \frac{KJ}{min}$$



---

6 يزيل مكيف هواء الحرارة باستمرار من منزل بمعدل زمني يساوي $750 \frac{KJ}{min}$ بينما يستهلك قدرة كهربائية بمعدل زمني يساوي 6KW. أوجد ① معامل أداء المكيف ② المعدل الزمني لنبذ الحرارة إلى الهواء الخارجي.

"solution".

$$\dot{Q}_L = 750 \frac{KJ}{min} = 12.5 KW, \quad \dot{W} = 6 KW$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{12.5}{6} = 2.083$$

$$\dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L = 6 + 12.5 = 18.5 KW = 1110 \frac{KJ}{min}$$

7 يدفأ منزل بواسطة مضخة حرارية معامل أدائها 1.8. فإذا كان معدل الزمني لتقويل المنزل بالطاقة الحرارية يساوي $75000 \frac{KJ}{h}$، أوجد ① القدرة الكهربائية التي تستهلكها المضخة ② المعدل الزمني لسحب الحرارة من الهواء الخارجي.

"solution"

$COP_{HP} = 1.8$, $\dot{Q}_H = 75000 \frac{KJ}{h} = 20.833\ KW$

$$\therefore COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}} \Rightarrow \dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}} = \frac{20.833}{1.8} = 11.574\ KW$$

$$\therefore \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W} = 20.833 - 11.574$$

$$\dot{Q}_L = 9.259\ KW = 33332.4 \frac{KJ}{h}$$

---

[8] تشتغل آلة حرارية قابلة لدورة كارنو بين منبع حراري درجة حرارته 1000K وبالوعة حرارية درجة حرارتها 300K. فإذا كانت الآلة الحرارية تزود بطاقة حرارية عند معدل زمني يساوي 800 KJ/min. أوجد ① الكفاءة الحرارية للآلة ② القدرة التي تنتجها الآلة.

"solution"

$T_H = 1000K$, $T_L = 300K$, $\dot{Q}_H = 800 \frac{KJ}{min} = 13.333\ KW$

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{1000} = 0.7 = 70\ \%$$

وهي أقصى كفاءة حرارية لهذه الآلة، وتتحقق عند التخلص من جميع مسببات اللاانعكاسية.

$$\because \eta_{th,rev} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{W} = \eta_{th,rev} \cdot \dot{Q}_H$$

$$\dot{W} = 0.7 \times 13.333 = 9.3331 \text{ KW}$$

---

9 ادعى مخترع تطوير آلة حرارية تستهلك طاقة حرارية بمقدار 800kJ من منبع حراري درجة حرارته 400k وتنتج شغل بمقدار 250kJ بينما تنبذ حرارة إلى بالوعة حرارية درجة حرارتها 300k . هل هذا الإدعاء مقبول ؟ . أذكر السبب..

"solution"

$Q_H = 800\,KJ$, $T_H = 400k$, $W = 250KJ$, $T_L = 300k$

أولاً نقوم بإيجاد الكفاءة الحرارية لهذه الآلة ثم نقارنه بالكفاءة الحرارية المثالية (كفاءة كارنو).

إذا كانت قيمة كفاءة هذه الآلة أقل من كفاءة كارنو، فإن هذه الآلة ممكنة (هذا الإدعاء مقبول)، وإلا فإن هذا الإدعاء غير مقبول.

$$\eta_{th,irr} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{W}{Q_H} = \frac{250}{800} = 0.3125 = 31.25\%$$

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{400} = 0.25 = 25\%$$

$$\therefore \eta_{th,irr} > \eta_{th,rev}$$

∴ هذا الإدعاء غير مقبول.

---

[15] ادعى مخترع تطوير آلة حرارية تستهلك طاقة حرارية بمقدار 800kJ من منبع حراري درجة حرارته 1000k، وتنتج معها شغل بمقدار 250kJ بينما تنبذ حرارة إلى بالوعة حرارية درجة حرارتها 300k. هل هذا الإدعاء مقبول؟. أذكر السبب

«solution»

$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{1000} = 0.7 = 70\%$$

$$\eta_{th,irr} = \frac{W}{Q_H} = \frac{250}{800} = 0.3125 = 31.25\%$$

∴ هذا الإدعاء مقبول

---

12 ينتج لاقط طاقة شمسية درجة حرارة قصوى تساوي 100°C وتستخدم الطاقة الناتجة كمصدر طاقة حرارية لتشغيل آلة حرارية دورية. ما هي الكفاءة الحرارية القصوى لهذه الآلة إذا كانت تعمل في بيئة درجة حرارتها 10°C ؟

«solution»

$T_H = 100°C = 373.15K$, $T_L = 10°C = 283.15K$

$$\eta_{th,max} = \eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{283.15}{373.15}$$

$$\therefore \eta_{th,max} = 0.2412 = 24.12\%$$

---

13 تستخدم مضخة حرارية لتدفئة منزل أثناء فصل الشتاء وتعكس لتبريد المنزل أثناء فصل الصيف بحيث تحافظ على درجة الحرارة داخل المنزل عند 20°C . وتفقد الحرارة المنتقلة خلال حوائط البيت وسقفه بالكمية 24000kJ لكل ساعة ولكل فرق في درجة الحرارة بين الداخل والخارج .

① ماهي أدنى قدرة مطلوبة لتشغيل المضخة إذا كانت درجة حرارة الجو الخارجي أثناء فصل الشتاء 0°C ؟

② ماهي أقصى درجة حرارة للجو الخارجي أثناء فصل الصيف يتسنى عندها المحافظة على درجة حرارة 20°C بالداخل إذا استخدم نفس مدخل القدرة لتشغيل المضخة في الفقرة ① ؟

«solution»

$T_H = 20°C = 293.15K$, $T_L = 0°C = 273.15K$

$$\dot{Q}_H = 2400 \frac{kJ}{h.k} = \frac{2400}{3600} \times (20 - 0) = 13.333 kW$$

$$\therefore COP_{HP,rev} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}}$$

$$\therefore \dot{W} = \dot{Q}_H \left(1 - \frac{T_L}{T_H}\right) = 13.333 \left(1 - \frac{273.15}{293.15}\right)$$

$$\dot{W} = 0.9096 kW$$

$$0.9096 = 13.333 \left(1 - \frac{293.15}{T_H}\right)$$

$$1 - \frac{293.15}{T_H} = 0.06822 \Rightarrow T_H = 314.61K = 41.46°C$$

14 عند نفس T_H & T_L يكون معامل أداء مضخة الحرارية

- مساوياً لمعامل أداء دورة التبريد.
- أكبر من معامل أداء دورة التبريد.
- أصغر من معامل أداء دورة التبريد.

ماهي الإجابة الصحيحة ؟

"solution"

يكون معامل أداء مضخة الحرارية أكبر من معامل أداء دورة التبريد عند نفس T_H و T_L حيث

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_L + W}{W} = \frac{Q_L}{W} + 1$$

$$COP_{HP} = COP_{ref} + 1$$

---

15 في محطة القدرة البخارية التي تعمل وفق دورة كارنو، يدخل الماء على شكل سائل مشبع إلى الغلاية عند ضغط 8MPa ليخرج منها كبخار مشبع ليتمدد خلال التوربين إلى ضغط 50kPa ثم يبرد خلال المكثف

ثم يضخ بواسطة المضخة ليكمل الدورة، فإذا علمت أن بالإضافة تستهلك قدرة تعادل 10% من القدرة الكلية الناتجة من التوربين. بإهمال الفقد في الضغط خلال كل من الغلاية والمكثف وكذلك تأثير طاقتي الحركة والوضع. احسب لكل 1 kg/s من الماء.

① كمية الحرارة المضافة للغلاية بالـ kW.

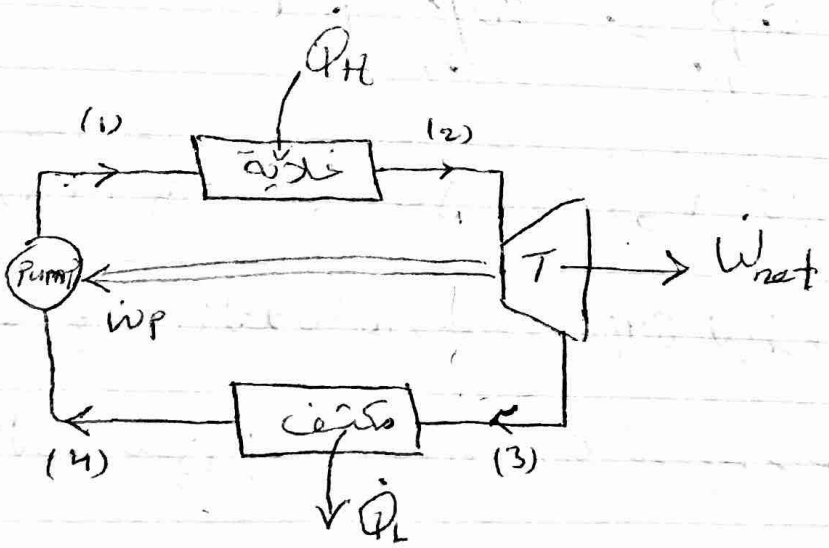
② كفاءة المحطة.

③ القدرة المنتجة من التوربين بالـ kW.

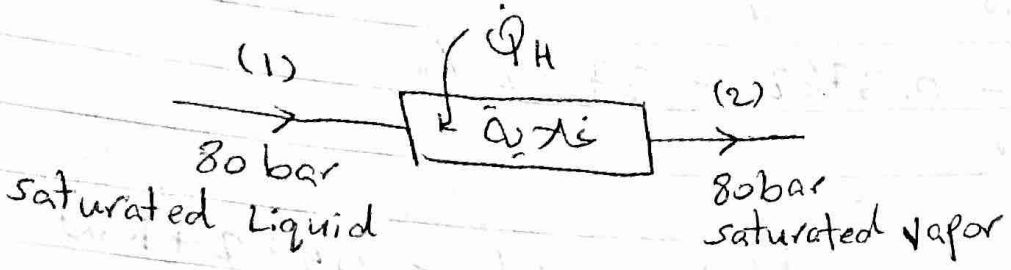
④ حالة الماء الخارج من التوربين والداخل من المكثف.

⑤ أرسم مخطط الدورة على خارطة T-s.

"solution"



$P_1 = 8\,MPa = 80\,bar$, $P_2 = 50\,kPa$, $\dot{W}_p = 0.1\,\dot{W}_t$



Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$
$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 1\ kg/s$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$$

$$\dot{Q}_H + \dot{m} h_1 = \dot{m} h_2$$

$$\dot{Q}_H = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

From Table (A3):

$h_1 = h_f = 1316.6\ \frac{kJ}{kg}$

$h_2 = h_g = 2758\ \frac{kJ}{kg}$

$\therefore \dot{Q}_H = 1(2758 - 1316.6) = 1441.4\ kW$

$T_H = T_{sat\ @80bar} = 295.1^\circ C = 568.25\,K$

$T_L = T_{sat\ @0.5bar} = 81.33^\circ C = 354.48\,K$

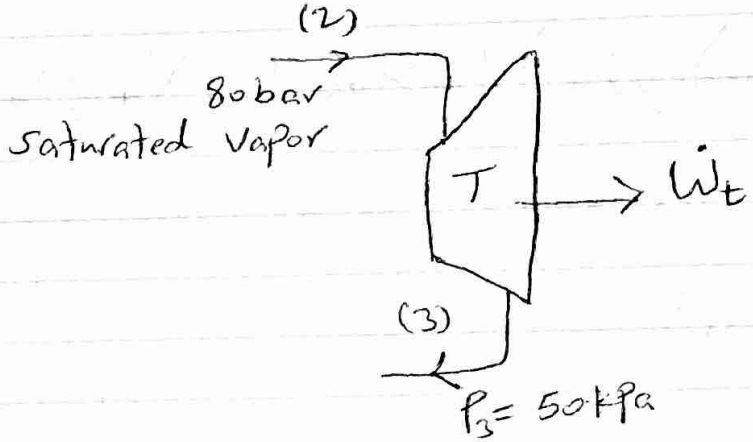
$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{354.48}{568.25}$$

$$\eta_{th,rev} = 0.3762 = 37.62\%$$

$$\because \eta_{th,rev} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{W}_{net} = 542.24\ kW$$

$$\dot{W}_t = \dot{W}_p + \dot{W}_{net} \Rightarrow \dot{W}_t = 0.1\dot{W}_t + 542.24$$

$$\therefore \dot{W}_t = 602.489\ kW$$



$$\cancel{\dot{Q}} + \Sigma \dot{m}_i\left(h_i + \cancel{\frac{V_i^2}{2}} + \cancel{gZ_i}\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e\left(h_e + \cancel{\frac{V_e^2}{2}} + \cancel{gZ_e}\right)$$

$$\dot{m}h_2 = \dot{W}_t + \dot{m}h_3$$

$$h_3 = \frac{\dot{m}h_2 - \dot{W}_t}{\dot{m}} = \frac{1 \times 2758 - 602.489}{1} = 2155.51\ \frac{kJ}{kg}$$

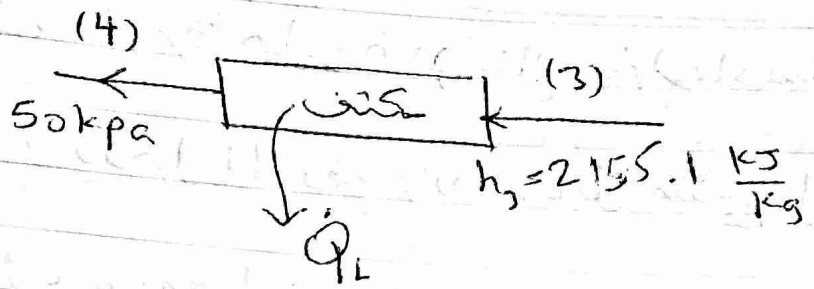
From Table (A3):

at $P = 0.5$ bar

$h_f = 340.49 \frac{KJ}{kg}$, $h_g = 2645.9 \frac{KJ}{kg}$

$\therefore h_f < h_3 < h_g$

∴ state is saturated Mixture (Liq + Vap)



$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{Q}_L + \dot{m} h_3 = \dot{m} h_4$$

$$h_4 = \frac{\dot{Q}_L + \dot{m} h_3}{\dot{m}}$$

نضع لإيجاد قيمة $\dot{Q}_L$ أولاً.

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{net} = 1441.4 - 542.24 = 899.16 \text{ KW}$$

$$h_4 = \frac{-899.16 + 1 \times 2155.1}{1} = 1255.94 \frac{KJ}{kg}$$

نلاحظ أن $\dot{Q}_L$ تكون سالبة لأنها خارجة من المنظومة.

From Table (A3): at $p = 0.5$ bar

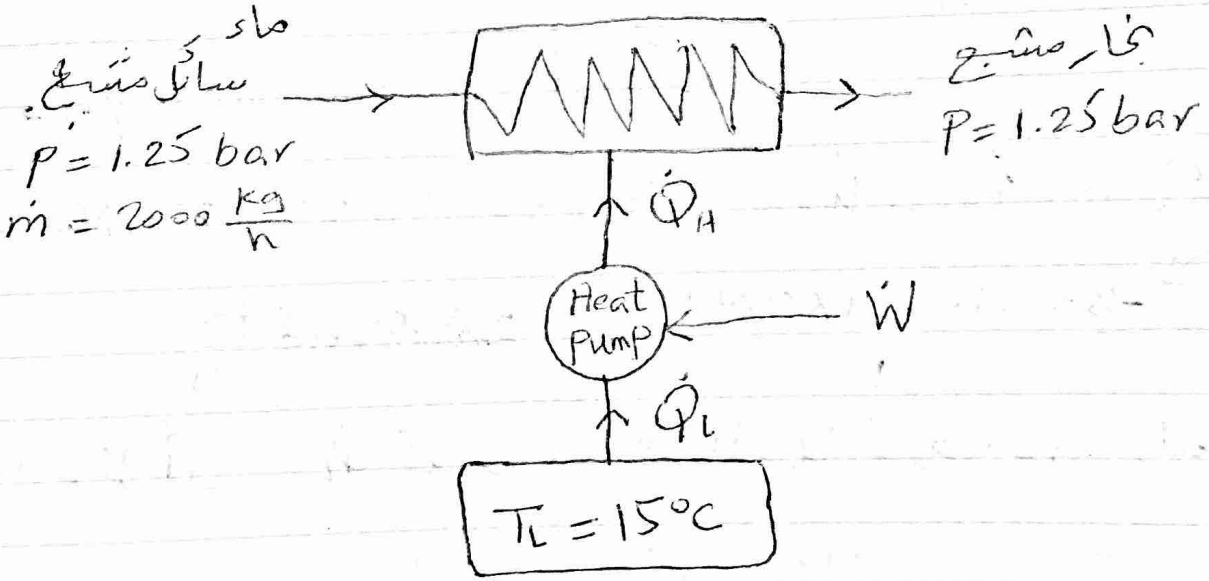
$\therefore h_f < h_4 < h_g$

∴ state is saturated Mixture

ملاحظة: من المفترض أن تكون حالة الماء الداخل للمضخة هي أن يكون في طور السائل، لأن المضخة تتعامل مع السوائل على عكس الضاغط الذي يتعامل مع الغازات.

16 أستخدمت مضخة حرارية لإنتاج بخار ماء مشبع كما هو موضح بالشكل، يدخل الماء في حالة سائل مشبع إلى المبادل الحراري عند ضغط 1.25 bar، وبمعدل تدفق مستقر 2000 $\frac{kg}{h}$. ما هي أدنى قيمة للشغل يجب إعطاؤها للمضخة الحرارية؟

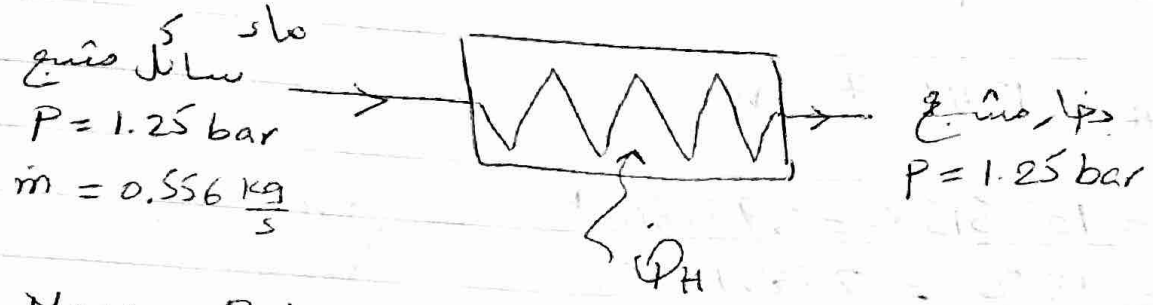
«solution»



$\dot{m} = 2000 \frac{kg}{h} = 0.556 \frac{kg}{s}$

$$\therefore COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}} \Rightarrow \dot{W} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP}}$$

نحتاج لإيجاد قيمة $\dot{Q}_H$ و COP_{HP} أو $\dot{W}$



Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 0.556 \text{ kg/s}$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$$

$$\dot{Q}_H + \dot{m} h_1 = \dot{m} h_e \Rightarrow \dot{Q}_H = \dot{m}(h_e - h_1)$$

From Table (A3):

at P = 1.25 bar, we use interpolation

	T_{sat}	h_f	h_g
1 bar	99.63 °C	417.46 kJ/kg	2675.5 kJ/kg
1.25 bar	T_H	h_f	h_g
1.5 bar	111.4 °C	467.11 kJ/kg	2693.6 kJ/kg

$\therefore T_H = 105.515$ °C, $h_f = 442.285 \frac{kJ}{kg}$, $h_g = 2684.55 \frac{kJ}{kg}$

$$\therefore h_1 = h_f = 442.285 \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore h_2 = h_g = 2684.55 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_H = 0.556 \left(2684.55 - 442.285\right)$$

$$\therefore \dot{Q}_H = 1246.7 \text{ kW}$$

$$T_H = 105.515°C = 378.665K$$
$$T_L = 15°C = 288.15K$$

$$COP_{HP,rev} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = \frac{1}{1 - \frac{288.15}{378.665}} = 4.18345$$

$$\therefore \dot{W}_{min} = \frac{\dot{Q}_H}{COP_{HP,rev}} = \frac{1246.7}{4.18345} = 298 \text{ kW}$$

---

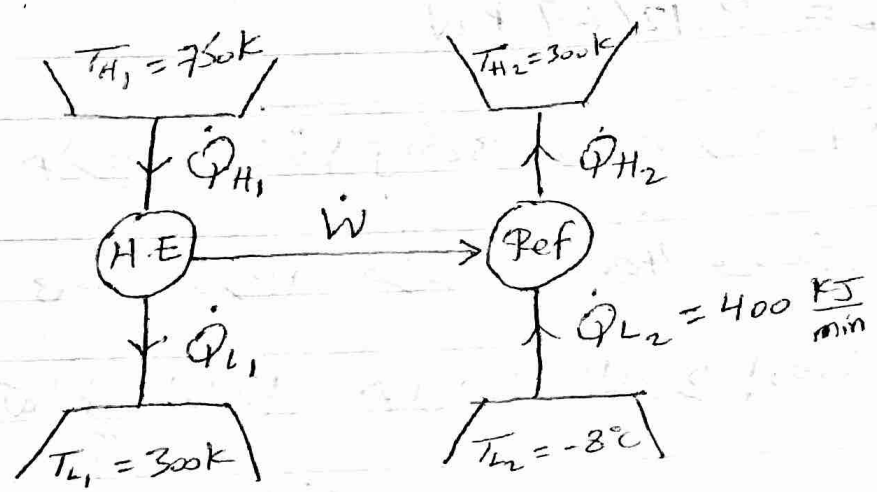
17 تستقبل آلة حرارية إنعكاسية الحرارة من مصدر حراري عند درجة حرارة 750K وتطرد حرارة إلى المحيط الجوي عند درجة حرارة 300K. تستخدم القدرة الناتجة من هذه الآلة في تشغيل مبرد إنعكاسي يعمل على تبريد حيز درجة حرارته $-8°C$ وذلك بنزع حرارة من الحيز بمعدل $400 \frac{kJ}{min}$ وطرد حرارة إلى المحيط الجوي عند درجة حرارة 300K.

① أرسم شكلاً توضيحياً للمسألة.

② أوجد معدل الحرارة التي تستقبلها الآلة الحرارية.

③ أوجد المعدل الكلي للحرارة المطرودة من الآلة الحرارية و المبرد إلى المحيط الجوي.

"solution"



$$\therefore COP_{ref,rev} = \frac{\dot{Q}_{L_2}}{\dot{W}} = \frac{1}{\frac{T_{H_2}}{T_{L_2}} - 1} = \frac{1}{\frac{300}{-8+273.15} - 1} = 7.6083$$

$$\therefore \dot{W} = \frac{\dot{Q}_{L_2}}{COP_{ref,rev}} = \frac{400/60}{7.6083} = 0.87623\ KW$$

$$\therefore \eta_{th,rev} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{H_1}} = 1 - \frac{T_{L_1}}{T_{H_1}} = 1 - \frac{300}{750} = 0.6$$

$$\therefore \dot{Q}_{H_1} = \frac{\dot{W}}{\eta_{th,rev}} = \frac{0.87623}{0.6} = 1.46\ KW$$

يكون المعدل الكلي للحرارة المطرودة من الآلة الحرارية و المبرد إلى المحيط الجوي هو ($\dot{Q}_{H_2} + \dot{Q}_{L_1}$)

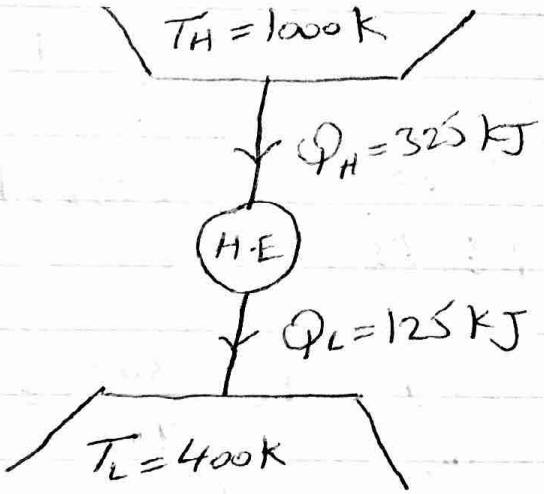
$$\dot{Q}_{H_2} = \dot{Q}_{L_2} + \dot{W} = \frac{40.0}{60} + 0.87623 = 7.5429 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{L_1} = \dot{Q}_{H_1} - \dot{W} = 1.46 - 0.87623 = 0.58377 \text{ kW}$$

$$\therefore \dot{Q}_{L_1} + \dot{Q}_{H_2} = 8.12667 \text{ kW}$$

---

[18] آلة حرارية تستقبل 325kJ من مصدر درجة حرارته 1000k وتتخلص من 125kJ في مكب درجة حرارته 400k وتنتج الدورة 200kJ من الشغل كما في الشكل. هل هذه الدورة إنعكاسية أم غير انعكاسية أم مستحيلة. ولماذا؟



$$\eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{400}{1000} = 0.6 = 60\%$$

$$\eta_{th,irr} = \frac{W}{Q_H} = \frac{200}{325} = 0.6153 = 61.53\%$$

$$\therefore \eta_{th,rev} < \eta_{th,irr}$$

∴ هذه الدورة مستحيلة الحدوث.

ملاحظة: لكي تكون الدورة ممكنة الحدوث، يجب أن تتوافق مع القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية.

في هذه المسألة، توافقت الدورة مع القانون الأول حيث أنه ($Q_H = W + Q_L$) ولم تتوافق مع القانون الثاني حيث ($\eta_{th,rev} < \eta_{th,irr}$).

---

[19] يدعي مصمم أن المجمّد الذي صممه يحافظ على درجة حرارة الوسط المبرد عند $-5°C$ عندما يشتغل عند درجة حرارة الغرفة ($27°C$) بمعامل أداء ($COP = 10$). هل إدعاؤه صحيح؟

إذا كان معدل الحرارة المسحوبة من حيز التبريد 2KW، إحسب

أقل قدرة ممكنة يمكن أن يشتغل بها المجمد؟

« Solution »

$T_L = -5°C = 268.15K$, $T_H = 27°C = 300.15K$, $COP_{ref,irr} = 10$

$$\therefore COP_{ref,rev} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{300.15}{268.15} - 1} = 8.38$$

$$\therefore COP_{ref,rev} < COP_{ref,irr}$$

∴ هذا الإدعاء غير صحيح ولا يمكن حدوثه

$$\therefore COP_{ref,irr} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} \quad \& \quad COP_{ref,rev} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{min}}$$

$$\therefore \dot{W}_{min} = \frac{\dot{Q}_L}{COP_{ref,rev}} = \frac{2}{8.38} = 0.239\,KW$$

---

[20] محرك حراري يشتغل على دورة كارنو كفاءته 55% ويطرد حرارة إلى بالوعة عند درجة حرارة 16°C بمعدل $1844 \frac{kJ}{min}$. أوجد قدرة المحرك ودرجة حرارة خزان المصدر (المنبع)، ثم علل لماذا يجب أن يتم طرد حرارة إلى البالوعة؟

« Solution »

$\eta_{th,rev} = 55\% = 0.55$, $T_L = 16\,^\circ C = 289.15\,K$

$\dot{Q}_L = 1844 \frac{kJ}{min} = 30.733\,KW$

$$\therefore \eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\frac{T_L}{T_H} = 1 - \eta_{th,rev}$$

$$T_H = \frac{T_L}{1 - \eta_{th,rev}} = \frac{289.15}{1 - 0.55} = 642.56\,K$$

$$\therefore T_H = 369.405\,^\circ C$$

$$\therefore \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L$$

and $$\therefore \eta_{th,rev} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{W} = \eta_{th,rev}\, \dot{Q}_H$$

$$\dot{W} = \eta_{th,rev} (\dot{W} + \dot{Q}_L)$$

$$\dot{W} = \eta_{th,rev}\, \dot{W} + \eta_{th,rev}\, \dot{Q}_L$$

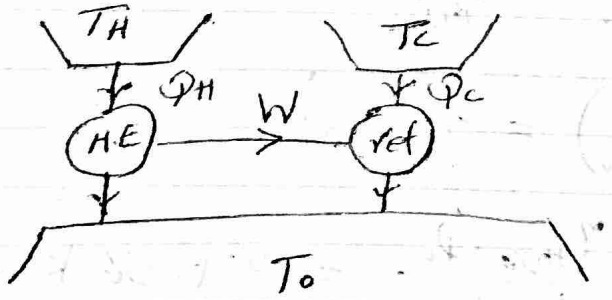
$$\dot{W} (1 - \eta_{th,rev}) = \eta_{th,rev}\, \dot{Q}_L$$

$$\therefore \dot{W} = \frac{\eta_{th,rev}\, \dot{Q}_L}{1 - \eta_{th,rev}} = 37.56\,KW$$

يجب أن يتم طرد حرارة إلى البالوعة. لأنه من المستحيل أن يتم إنشاء منظومة تشتغل في دورة (المحرك الحراري في هذه الحالة) وتسحب في كمية من الحرارة من حوض حراري مرتفع درجة الحرارة و تحويل كامل هذه الطاقة إلى شغل وذلك طبقاً لقانون كلفن-بلانك حيث أنه لا يمكننا التخلص من الطاقة المنبوذة (Q_1).

---

21 تستقبل آلة حرارية انعكاسية كمية من الحرارة Q_H من منبع درجة حرارته T_H وتنبذ حرارة إلى المحيط المجاور عند درجة حرارة T_0. ويستخدم الشغل المنتج لتشغيل ثلاجة انعكاسية تقوم بإزالة كمية من الحرارة مقدارها Q_c من حيز التبريد عند درجة حرارة T_c و تنبذ حرارة إلى نفس المحيط المجاور عند درجة حرارة T_0. عبر عن النسبة ($\frac{Q_c}{Q_H}$) بدلالة T_H و T_0 و T_c.



$$\therefore \eta_{th,rev} = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{T_0}{T_H}$$

$$\therefore W = \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) Q_H$$

$$\therefore COP_{ref,rev} = \frac{Q_c}{W} = \frac{1}{\frac{T_0}{T_c} - 1}$$

$$\therefore W = \left(\frac{T_0}{T_c} - 1\right) Q_c$$

$$\therefore \left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) Q_H = \left(\frac{T_0}{T_c} - 1\right) Q_c$$

$$\frac{T_H - T_0}{T_H} Q_H = \frac{T_0 - T_c}{T_c} Q_c$$

$$\therefore \frac{Q_c}{Q_H} = \frac{\frac{T_H - T_0}{T_H}}{\frac{T_0 - T_c}{T_c}} = \frac{T_c (T_H - T_0)}{T_H (T_0 - T_c)}$$

---

22 تعمل دورة قدرة بين مستودع درجة حرارته T ومستودع منخفض درجة الحرارة عند 280K. وتنتج الدورة عند حالة مستقرة 40kW من القدرة بينما تطرد طاقة حرارية إلى المستودع المنخفض درجة الحرارة عند معدل زمني يساوي $1000 \frac{kJ}{min}$. أوجد أدنى قيمة نظرية لـ T؟

«solution»

$T_L = 280K$, $\dot{W} = 40kW$, $\dot{Q}_L = 1000 \frac{kJ}{min} = 16.667 kW$

$\therefore \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L = 40 + 16.667 = 56.667 kW$

$\therefore \eta_{th,rev} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{40}{56.667} = 0.706$

$1 - \frac{T_L}{T} = 0.706 \Rightarrow \frac{280}{T} = 1 - 0.706$

$\therefore T = 952K = 678.85°C$

---

23 يدعي مخترع بأنه طور منظومة تبريد تزيل 30000kJ من الحرارة خلال عشرين دقيقة من حيز مبرد ومحافظ على درجة حرارة عند $-30°C$ وينقلها إلى هواء المحيط عند درجة حرارة $25°C$ بينما يستهلك قدرة كهربائية قدرها 2kW . هل هذا الإدعاء معقول؟ ولماذا؟

«solution»

$\dot{Q}_L = \frac{30000 kJ}{20 min} = 25 kW$, $T_L = -30°C = 243.15K$

$T_H = 25°C = 298.15K$, $\dot{W} = 2kW$

$\therefore COP_{ref,rev} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{25}{2} = 12.5$

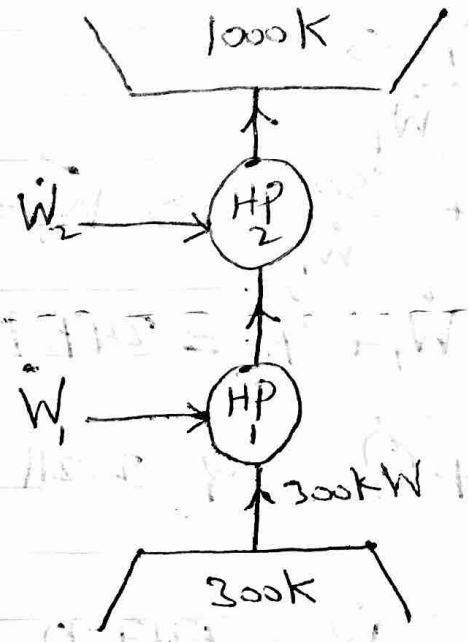
$$COP_{ref,rev} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{298.15}{243.15} - 1} = 4.42$$

$$\because COP_{ref,rev} < COP_{ref,irr}$$

∴ هذا الإدعاء غير معقول ولا يحدث لأنه يخالف القانون الثاني للديناميكا الحرارية.

---

[24] للشكل الموضح، إذا علمت أن الطرفتان الحراريتان تعملان تبعاً لدورة كارنو وأن لهما نفس معامل الأداء. احسب الشغل المطلوب لكل مضخة حرارية؟



«Solution»

$$\therefore \text{COP}_{HP,rev_1} = \text{COP}_{HP,rev_2}$$

$$\frac{1}{1-\frac{300}{T}} = \frac{1}{1-\frac{T}{1000}}$$

$$1-\frac{300}{T} = 1-\frac{T}{1000}$$

$$\therefore \frac{300}{T} = \frac{T}{1000} \Rightarrow T = 547.72K$$

$$\therefore \text{COP}_{HP,rev_1} = 2.211 = \text{COP}_{HP,rev_2}$$

$$2.211 = \frac{\dot{Q}_{H_1}}{\dot{W}_1} \quad \& \quad 2.211 = \frac{\dot{Q}_{H_2}}{\dot{W}_2}$$

$$2.211 = \frac{\dot{W}_1 + 300}{\dot{W}_1}$$

$$2.211 = 1 + \frac{300}{\dot{W}_1} \Rightarrow \dot{W}_1 = 247.72KW$$

$$\dot{Q}_{L_2} = \dot{Q}_{H_1} = \dot{W}_1 + \dot{Q}_{L_1} = 247.72 + 300 = 547.72KW$$

$$\therefore \dot{Q}_{H_2} = \dot{W}_2 + \dot{Q}_{L_2} \quad \& \quad 2.211 = \frac{\dot{Q}_{H_2}}{\dot{W}_2}$$

$$\therefore 2.211 = \frac{\dot{W}_2 + 547.72}{\dot{W}_2}$$

$$2.211 = 1 + \frac{547.72}{\dot{W}_2}$$

$$\therefore \dot{W}_2 = 452.287\,KW$$

محمد خليفة الزوغي

الإنتروبيا (Entropy)

أصل كلمة الإنتروبيا مأخوذ عن اليونانية ومعناها «تحول».

يمكن تعريف الإنتروبي بأنها مقياس لمدى العشوائية (عدم الإنتظام).

* متباينة كلاوسيوس :-

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_b \leq 0$$

وهذه المتباينة متحققة لأي دورة ديناميكية حرارية.

$\delta Q \Rightarrow$ تعبر عن كمية الحرارة المنقولة بين النظام والمحيط من خلال الحد الفاصل (boundary)

$T \Rightarrow$ درجة الحرارة المطلقة عند الحد الفاصل

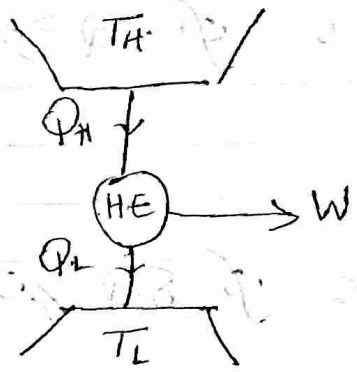
الرمز (b) يعني أن هذا التكامل يحسب عند الحد الفاصل بين النظام و المحيط المجاور.

التكامل المغلق ($\oint$) يعني أن التكامل يجرى على إستدارة أو تكامل.

- ملاحظة :- متباينة كلاوسيوس صالحة لكل الدورات سواء كانت إنعكاسية أم غير إنعكاسية.

$$\therefore \oint \frac{\delta Q}{T} \begin{cases} = 0 & \text{reversable} \\ < 0 & \text{irreversable} \\ > 0 & \text{impossible} \end{cases}$$

لإثبات صحة متباينة كلاوسيوس، نفرض أن لدينا آلة حرارية تعمل بين خزانين حراريين عند T_H و T_L.



يكون التكامل المغلق لانتقال الحرارة كالتالي:

$$\oint \delta Q = Q_H - Q_L > 0$$

وتكون متباينة كلاوسيوس كالتالي:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} < 0$$

فإذا كانت الآلة انعكاسية فإن:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = 0$$

$$\frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L} \Rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

وهذا ماقض عليه كارنو في الدورات الإنعكاسية.

وبجعل T_H تقترب من T_L بينما تبقى هذه الدورة إنعكاسية فإن Q_H أيضا ستقترب من Q_L. وبالتالي فإن:

Aversable:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad , \quad \oint \delta Q \geq 0$$

irreversable:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad , \quad \oint \delta Q \geq 0$$

وبالمثل بالنسبة للثلاجة والمضخة الحرارية حيث يكون:

reversable:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad , \quad \oint \delta Q \leq 0$$

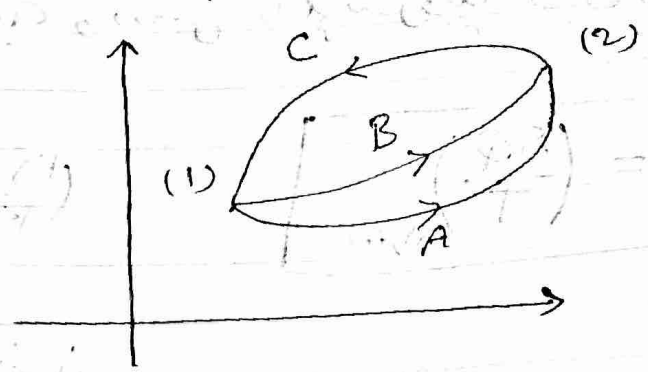
irreversable:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad , \quad \oint \delta Q \leq 0$$

- ملاحظة: يجب ملاحظة أن في الثلاجة والمضخة الحرارية يكون $\left(\oint \delta Q = Q_L - Q_H\right)$ و $\left(\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_L}{T_L} - \frac{Q_H}{T_H}\right)$.

* الإنتروبي كخاصية ديناميكية حرارية :-

نفرض أن لدينا منظومة ما تنتقل من حالة إتزان (1) إلى حالة إتزان أخرى (2) ثم ترجع إلى الحالة الإبتدائية (1) وذلك عن طريق مسارين مختلفين كما هو مبين :



وبإفتراض أن الدورة إنعكاسية. وبالتالي فإن متباينة كلاوسيوس تكون :

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{int,rev} = 0$$

المسار الأول :

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C = 0$$

المسار الثاني :

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C = 0$$

وبطرح المعادلة الثانية من الأولى :

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A - \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B = 0$$

$$\therefore \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B$$

∴ نستنتج أن الكمية $\frac{\delta Q}{T}$ لا تعتمد على المسار وإنما تعتمد فقط على نقطة البداية والنهاية [Point function]. وهي بذلك خاصية ديناميكية حرارية وتسمى بالإنتروبيا ويرمز لها بالرمز (S).

$$\therefore dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{int,rev} \qquad \left(\frac{kJ}{K}\right)$$

وبتكامل الطرفين

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{int,rev} \qquad \left(\frac{kJ}{K}\right)$$

وتوجد أيضا الإنتروبيا النوعية وتكون :

$$s = \frac{S}{m} \qquad \left(\frac{kJ}{kg.K}\right)$$

* علاقتان مهمتان في الديناميكا الحرارية :-

∴ في القانون الأول للديناميكا الحرارية $_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta E$

وبإهمال تأثير طاقتي الحركة والوضع فإن :

$$Q_2 = W_2 + \Delta U \Rightarrow \delta Q = \delta W + dU$$

وحيث أن : $(\delta W = p\,dV)$. وفي العملية الإنعكاسية

$$ds = \frac{\delta Q}{T} \Rightarrow \delta Q = T\,ds$$

فإن :

$$T\,ds = p\,dV + dU$$

or $$\boxed{T\,ds = dU + p\,dV}$$

$$\because H = U + pV \quad \text{or} \quad h = u + pv$$

$$dH = dU + d(pV) = \underbrace{dU + p\,dV}_{T\,ds} + V\,dp$$

$$\therefore dH = T\,ds + V\,dp$$

$$\boxed{\therefore T\,ds = dH - V\,dp}$$

وبقسمة طرفي هاتين المعادلتين على الكتلة و درجة الحرارة (T) :

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{p}{T}\,dv$$

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{v}{T}\,dp$$

وبالتالي فإنه يمكن حساب Δs بتكامل العلاقتين.

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{du}{T} + \int_1^2 \frac{P}{T}\,dv$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dh}{T} - \int_1^2 \frac{v}{T}\,dP$$

كيفية حساب Δs:

- المواد النقية Pure substance — From Tables
  - نحدد الحالة أولاً ثم نأخذ القيم
  - Tables A22, A23
    - $T_1 \Rightarrow s^\circ(T_1)$
    - $T_2 \Rightarrow s^\circ(T_2)$
    - لحل تكامل $\Rightarrow s^\circ(T) = \int_0^T \frac{c_p(T)}{T}\,dT$ جاهز
    - or
    - $\Delta s = s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1) - R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$
    - ملاحظة: في الجدول A23 القيم هي $\bar{s}^\circ$ وبالتالي يجب قسمتها على الوزن الجزيئي M.
- الغازات المثالية Ideal gas
  - From Table (A19)
  - Table A20
    - [Constant specific heats] حرارة نوعية ثابتة
    - $\Delta s = c_{v_{avg}} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$
    - or
    - $\Delta s = c_{p_{avg}} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$
    - $c_{v_{avg}}$ & $c_{p_{avg}}$
    - يحسبان عند درجة حرارة متوسطة وهي:
    - $T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2}$
- المواد الصلبة والسائلة solids & Liquids
  - $c_p \simeq c_v \simeq c$
  - [وهي مواد غير قابلة للإنضغاط] أي أن $(dv = 0)$
  - $\therefore \Delta s = c\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$

- مبدأ إرتفاع الإنتروبيا :

ينص مبدأ إرتفاع الإنتروبيا على أن أي تفاعل يحدث داخل المنظومة الموحدة (المنظومة + المحيط المجاور) ينشأ عنه دائماً زيادة في الإنتروبيا. وبالتالي فإن :

$$ds_{system} \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$ds_{surr} \geq -\frac{\delta Q}{T_0}$$

حيث أن T_0 هي درجة حرارة المحيط المجاور.

ولحساب التغير الكلي في الإنتروبيا يكون :

$$ds_{system} + ds_{surr} = ds_{net}$$

$$\text{or} \quad \Delta S_{net} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr}$$

هذه المعادلة تسمى ((بالإنتروبيا المتولدة)) (Entropy generation) ويرمز لها بالرمز (S_{gen}). وقد تولدت هذه النتيجة لحساب اللاإنعكاسية. فلو كانت المنظومة إنعكاسية لما كانت لدينا S_{gen}.

أي أن :

$$\boxed{S_{gen} \geq 0}$$

وبالتالي فإن :

$$S_{gen} \begin{cases} = 0 & \text{reversable} \\ > 0 & \text{irreversable} \\ < 0 & \text{impossible} \end{cases}$$

فلكي تكون المنظومة متحققة، يجب أن تتوافق مع القانونين الأول والثاني للديناميكا الحرارية. فلكي تتوافق مع القانون الثاني يجب أن تكون ($S_{gen} \geq 0$) وإلا فإن المنظومة غير متحققة.

وبالتالي فإنه يمكننا الآن كتابة القانون الثاني للديناميكا الحرارية للمنظومة المغلقة:

Second Law of thermodynamics for closed system:
(entropy Balance)

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

Entropy change
التغير في الإنتروبيا

Entropy Transfer
انتقال الإنتروبيا

Entropy production (Generation) due to irreversibilities
الإنتروبيا المتولدة نتيجة اللاانعكاسية.

ويمكن كتابة هذا القانون بأشكال أخرى (other forms):

$$S_2 - S_1 = \sum \frac{Q}{T} + S_{gen}$$

or

$$\frac{dS}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

* القانون الثاني للديناميكا الحرارية في المنظومات المفتوحة:

Second law of thermodynamics for open system (control volume)

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen}$$

rate of entropy change: معدل التغير في الإنتروبيا داخل المنظومة

rate of entropy Transfer: معدل إنتقال الإنتروبيا

rate of entropy generation: معدل الإنتروبيا المتولدة.

عملية الحالة المستقرة والتدفق المستقر :-
Steady state steady flow:

$$\frac{dS_{c.v}}{dt} = 0$$

$$\boxed{\Sigma \dot{m}_e S_e - \Sigma \dot{m}_i S_i = \Sigma \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}}$$

عملية الحالة المنتظمة والتدفق المنتظم :-
Uniform state Uniform flow:

$$\boxed{S_2 - S_1 = \Sigma \frac{Q}{T} + \Sigma m_i S_i - \Sigma m_e S_e + S_{gen}}$$

ملاحظات :-

1 عندما تكون المنظومة معزولة أو كاظمة للحرارة أو العملية أديباتية

فإن $\int \frac{\delta Q}{T} = 0$ ، $\Sigma \frac{Q}{T} = 0$ إذن $\boxed{Q = 0}$

2 عندما تكون العملية إنعكاسية (reversable) فإن $\boxed{S_{gen} = 0}$.

3 عندما تكون العملية أديباتية و إنعكاسية فإن :

$Q = 0$ and $S_{gen} = 0$

وبالتالي فإن $\boxed{\Delta S = 0}$ وتسمى هذه العملية عندما

($\Delta S = 0$) بالعملية الأيزونتروبية (Isontropic process).

ملاحظة: العملية الأيزونتروبية هي عملية متعددة المسارات $[pv^n = c]$ عندما $(n=k)$ حيث $(k = \frac{c_p}{c_v})$. وذلك بالنسبة للغازات المثالية.

---

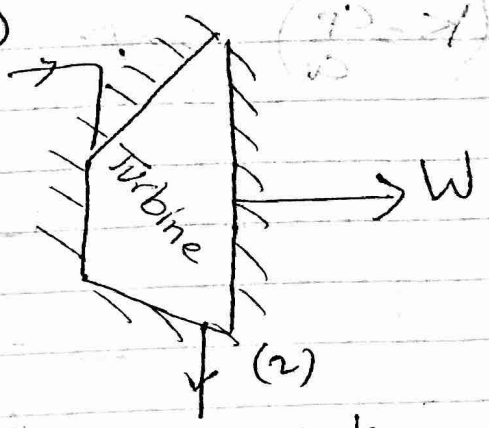
* الكفاءة الأيزونتروبية :-

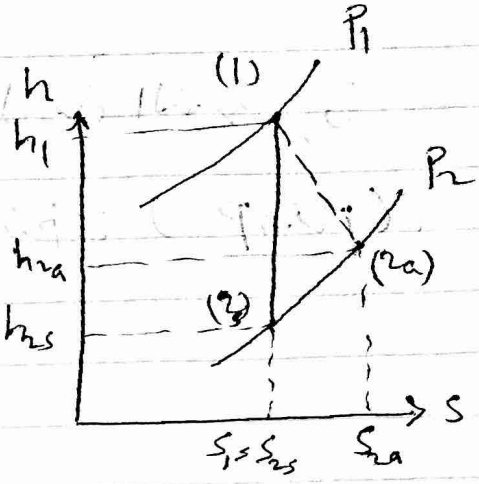
سنقوم بحساب الكفاءة الأيزونتروبية لكل من التوربين (Turbine) و الضاغط (Compressor) أو المضخة (Pump) و الفوهة (Nozzle)

لاكن قبل ذلك سنقوم بفرض الآتي :

1. سنفرض أن حالة الدخول هي ثابتة في الحالتين (المثالية والغير مثالية). $[State(1) \Rightarrow Fixed]$
2. سنفرض أن المنظومة معزولة تماماً (أي أن $Q=0$).
3. تأثير طاقتي الحركة و الوضع مهمل.
4. الضغط في حالة الخرج ثابت في الحالتين المثالية و الغير مثالية.

① الكفاءة الأيزونتروبية للتوربين :-





Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\therefore \dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$$

$$\therefore W = \frac{\dot{W}}{\dot{m}} = h_i - h_e = h_1 - h_{2a}$$

وتكون الكفاءة الأيزونتروبية هي خارج قسمة الشغل الغير مثالي على الشغل المثالي.

$$\boxed{\eta = \frac{W_a}{W_s}}$$

حيث (W_a) الشغل الفرضي ، (W_s) الشغل المثالي

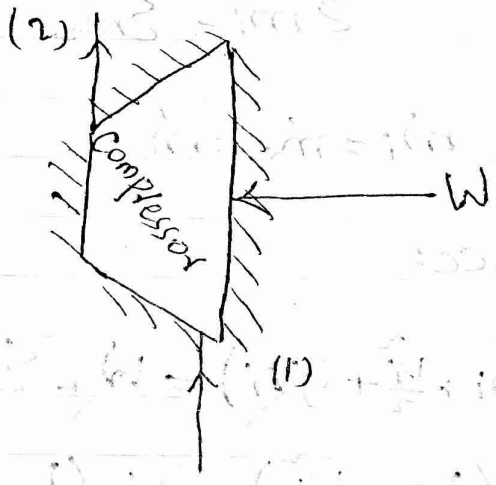
$$\therefore \eta = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

حيث h_{2a} هي نحسبها التي تحسب عند حالة الخروج، h_{2s} تحسب عندما $s_1 = s_2$. أي أن h_{2s} تحسب من:

$P_{2\&} \; s_2 = s_1 \Rightarrow h_{2s}$

---

② الكفاءة الأيزونتروبية للضاغط:-



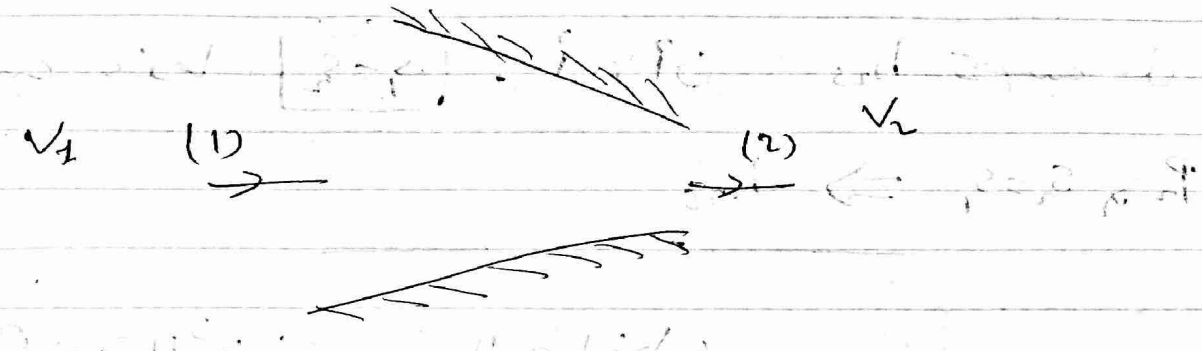
بنفس الخطوات السابقة نتحصل على:

$$\eta = \frac{W_s}{W_a} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_2 - h_{2a}}$$

ملاحظة: هنا الكفاءة حاصل قسمة (W_s) على (W_a) لأن $W_s < W_a$

لأن الضاغط المثالي يستهلك شغل أقل من الضاغط الغير مثالي.

③ الكفاءة الأديزونتروبية للفوهة:



Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$$

$$\dot{m}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2}\right) = \dot{m}\left(h_e + \frac{V_e^2}{2}\right)$$

$$h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2}$$

وتكون الكفاءة كالتالي :-

$$\eta = \frac{\left(\frac{V_{2a}^2}{2}\right)}{\left(\frac{V_{2s}^2}{2}\right)} = \left(\frac{V_{2a}}{V_{2s}}\right)^2$$

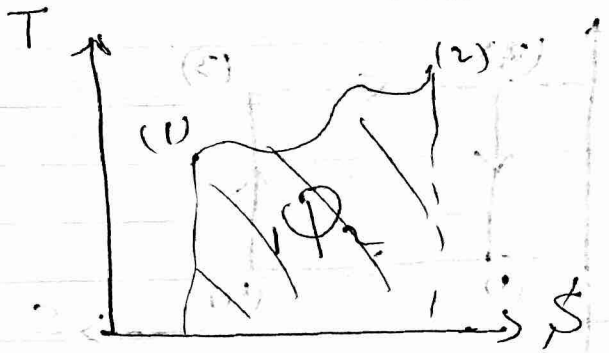
ملاحظة : لاتنس التربيع.

* T-s Diagram أو T-s بيان

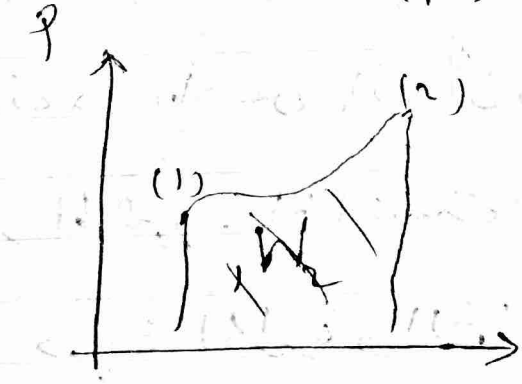
$$\therefore ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{int,rev}$$

$$\therefore \delta Q = T\,ds \Rightarrow \boxed{{}_1Q_2 = \int_1^2 T\,ds}$$

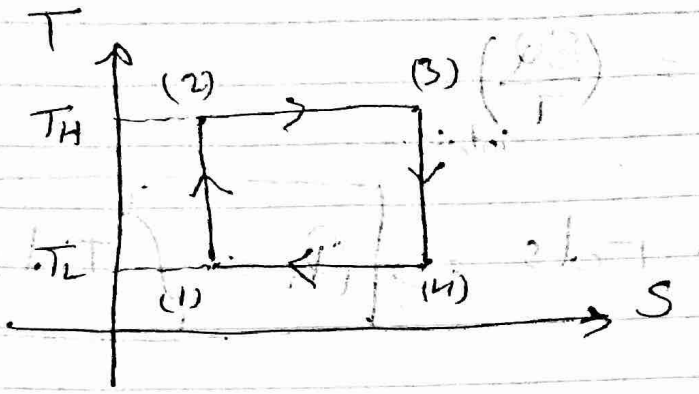
وبالتالي فإن المساحة المحصورة تحت منحنى (T-s) تمثل كمية الحرارة المنتقلة (${}_1Q_2$).



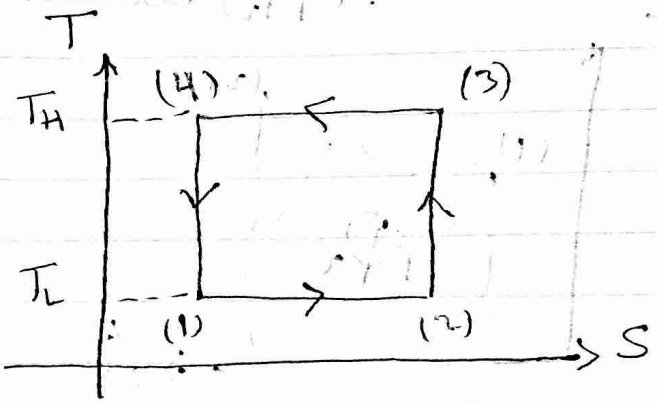
وفي السابق قلنا أن المساحة المحصورة تحت منحنى (P-V) تمثل الشغل المبذول (W).



ويكون شكل مخطط (T-s): لآلة حرارية إنعكاسية كالتالي:



ويكون شكل مخطط (T-s) للثلاجة أو المضخة الحرارية إنعكاسية كالتالي:



«مسائل متنوعة»

1 جهاز مكبس وإسطوانة يحتوي على بخار الماء المشبع عند درجة حرارة 150°C. تمدد المكبس إلى أن وصل الماء إلى الحالة النهائية وهي البخار المشبع. إذا علمت أن العملية إنعكاسية وعند ثبوت كلاً من درجة الحرارة والضغط. احسب حدل إنتقال الحرارة والشغل المبذول بوحدات $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$.

وضع العملية على كل من ① مخطط T-s ② مخطط P-v

((Solution))

State (1): saturated Liquid

$T_1 = T_{sat} = 100°C$

State (2): saturated vapor

Process 1-2: P=C, T=C, reversable

⇒ وبإستخدام القانون الثاني للديناميكا الحرارية للمنظومة المغلقة:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \cancel{S_{gen}}^{=0}$$

وحيث أن T=C ∴ فإن:

$$\Delta S = \frac{1Q_2}{T} \Rightarrow {}_1Q_2 = T\Delta S$$

$$\therefore {}_1q_2 = \frac{{}_1Q_2}{m} = T\Delta s = T(s_2 - s_1)$$

$$\left.\begin{aligned} s_1 = s_f &= 1.3069 \ \frac{kJ}{kg.k} \\ s_2 = s_g &= 7.3549 \ \frac{kJ}{kg.k} \end{aligned}\right] \text{From Table (A-2)}$$

$$\therefore {}_1q_2 = (100+273.15)\left[7.3549 - 1.3069\right] = 2256.8 \ \frac{kJ}{kg}$$

من القانون الأول للديناميكا الحرارية :

$$_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U \Rightarrow {}_1q_2 = {}_1w_2 + \Delta u$$

$${}_1w_2 = {}_1q_2 - \Delta u = {}_1q_2 - (u_2 - u_1)$$

$$u_1 = u_f = 418.94 \ \frac{kJ}{kg} \ , \ u_2 = u_g = 2506.5 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore {}_1w_2 = 2256.8 - (2506.5 - 418.94) = 169.24 \ \frac{kJ}{kg}$$

⇐ للتأكد من الحل، نقوم بحساب الشغل من :

$${}_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = P(v_2 - v_1)$$

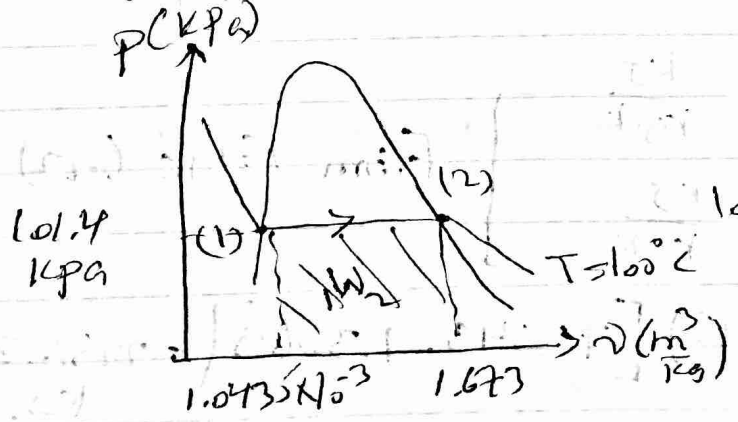
$P = C$ ثابت

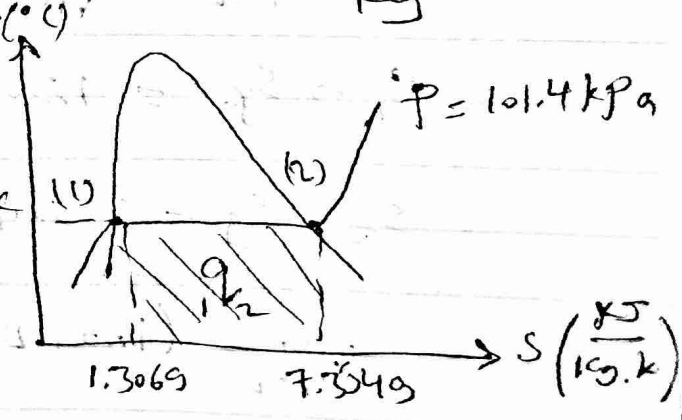
$$P = P_{sat} = 101.4 \ kPa$$

$$v_1 = v_f = 1.0435 \times 10^{-3} \ m^3/kg$$

$$v_2 = v_g = 1.673 \ m^3/kg$$

$$\therefore {}_1w_2 = 101.4(1.673 - 1.0435 \times 10^{-3}) = 169.5 \ \frac{kJ}{kg}$$





2 ضغط مائع التبريد R134a من حالة مبدئية وهي بخار مشبع عند 0°C إلى حالة نهائية عند ضغط 0.7Mpa. فإذا علمت أن العملية أديباتية. فاحسب أدنى شغل مطلوب بوحدات $\left(\frac{KJ}{Kg}\right)$ و T_2.

«Solution»

state (1): saturated vapor

$T_1 = 0°C$, $P_2 = 0.7Mpa = 700kpa$, $Q = 0$

$$\therefore \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}^{=0} + S_{gen}$$

أدنى شغل يمكن التحصل عليه عندما تكون المنظومة خالية من مسببات اللاإنعكاسية. وبالتالي عندما $S_{gen} = 0$

$$\therefore \Delta S = 0 \Rightarrow S_1 = S_2 \Leftarrow \text{isentropic}$$

$$\therefore \cancel{Q_2} = {}_1W_2 + \Delta U$$

$$\cancel{q_2} = {}_1w_2 + \Delta u \Rightarrow {}_1w_2 = -\Delta u$$

$$\therefore {}_1w_2 = -(u_2 - u_1) = u_1 - u_2$$

From Table (A10):

$$u_1 = u_g = 227.06 \frac{KJ}{Kg} \quad , \quad S_1 = S_g = 0.9150 \frac{KJ}{Kg.K}$$

State (2): $P_2 = 700 kPa$, $S_2 = S_1 = 0.9190 \frac{KJ}{Kg.K}$

From Table (A11): at $P = 700 kPa = 7 bar$

$S_f = 0.3242 \frac{KJ}{Kg.K}$, $S_g = 0.9080 \frac{KJ}{Kg.K}$

$\therefore S_2 > S_g$

$\therefore$ State is superheated vapor

From Table (A12):

at $P = 7 bar$ & $S = 0.9190 \frac{KJ}{Kg.K}$

we use interpolation

$0.9080 \frac{KJ}{Kg.K}$	sat $= 167^\circ C$	$241.42 \frac{KJ}{kg}$
$0.9190 \frac{KJ}{Kg.K}$	T_2	u_2
$0.9197 \frac{KJ}{Kg.K}$	$30^\circ C$	$244.51 \frac{KJ}{kg}$

$\therefore T_2 \approx 29.8^\circ C$, $\therefore u_2 \approx 244.325 \frac{KJ}{kg}$

$\therefore w_2 = 227.06 - 244.325 = -17.265 \frac{KJ}{kg}$

3 0.3kg من الحديد عند 1200K أسقطت في خزان جاسئ يحتوي على 9kg من الماء عند 300K. إذا علمت أن المنظومة معزولة. وأن الحرارة النوعية لكل من الماء والحديد هما $4.2\ \frac{kJ}{kg.K}$ و $0.42\ \frac{kJ}{kg.K}$ على التوالي. فاحسب:

① درجة الحرارة عند الإتزان الحراري. ② الإنتروبي المتولدة S_{gen}.

"Solution"

حيث أن الخزان جاسئ فإن: $V=C \Leftarrow W_2=0$

والمنظومة معزولة $\Leftarrow Q_2=0$

$$\because Q_2 = W_2 + \Delta U \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta U_{\text{حديد}} + \Delta U_{\text{ماء}} = 0$$

$$mC(T_f - T_1)_{\text{حديد}} + mC(T_f - T_1)_{\text{ماء}} = 0$$

$$0.3 \times 0.42 (T_f - 1200) + 9 \times 4.2 (T_f - 300) = 0$$

$$0.126T_f - 151.2 + 37.8T_f - 11340 = 0$$

$$37.926T_f = 11340 + 151.2 \Rightarrow \boxed{T_f = 302.99\ K}$$

$$S_{gen} = \Delta S_{total} = mC\ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right)_{\text{حديد}} + mC\ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right)_{\text{ماء}}$$

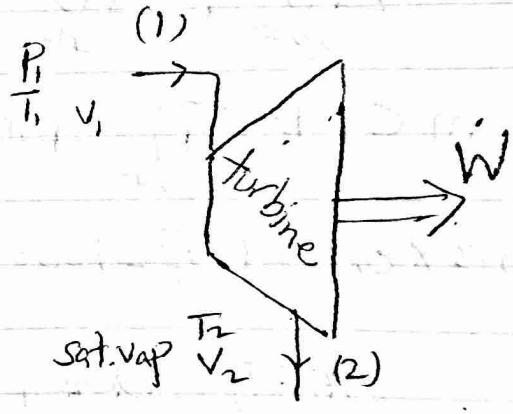
$$S_{gen} = 0.3 \times 0.42 \ln\left(\frac{302.93}{1200}\right) + 9 \times 4.2 \ln\left(\frac{302.93}{300}\right)$$

$$S_{gen} = -0.1734 + 0.3748 = 0.2014 \ \frac{kJ}{K}$$

---

4 يدخل البخار إلى داخل توربين عند ضغط 30bar ودرجة حرارة 400°C وبسرعة 160m/s ليخرج منها كبخار مشبع عند 100°C وبسرعة 100m/s. فإذا علمت أن التوربين تنتج شغل مقداره 540 $\frac{kJ}{kg}$ وأن درجة الحرارة للمحيط هي 350k، أوجد معدل الإنتروبي المتولدة لكل وحدة kg.

«Solution»



- Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

- Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h_1 + \frac{V_1^2}{2}\right) = \dot{W} + \dot{m}\left(h_2 + \frac{V_2^2}{2}\right)$$

$$\therefore \dot{Q} = \dot{W} + \dot{m}\left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}\right)$$

$$\therefore q = w + h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

From Table (A4):

at $P = 30\,bar$ & $T = 400^\circ C$

$$h_1 = 3230.9 \frac{kJ}{kg}, \quad s_1 = 6.9212 \frac{kJ}{kg.K}$$

From Table (A2):

at $T = 100^\circ C$

$$h_2 = h_g = 2676.1 \frac{kJ}{kg}, \quad s_2 = s_g = 7.3545 \frac{kJ}{kg.K}$$

$$\therefore q = 540 + 2676.1 - 3230.9 + \frac{100^2 - 160^2}{2000}$$

$$\therefore q = -22.6 \frac{kJ}{kg}$$

- Entropy Balance:

$$\Sigma \dot{m}_e s_e - \Sigma \dot{m}_i s_i = \Sigma \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

$$\dot{S}_{gen} = \Sigma \dot{m}_e s_e - \Sigma \dot{m}_i s_i - \Sigma \frac{\dot{Q}}{T}$$

$$\therefore \dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_2 - s_1) - \dot{m}\frac{q}{T}$$

$$\leftarrow s_{gen} = \frac{\dot{S}_{gen}}{\dot{m}} = s_2 - s_1 - \frac{q}{T}$$

$$\leftarrow s_{gen} = 7.3549 - 6.9242 - \frac{-22.6}{350} = 0.49827 \ \frac{kJ}{kg.}$$

---

5 ينتقل الهواء من حالة مبدئية عند 1bar و 300k إلى حالة نهائية عند 650k خلال عملية أيزونتروبية. احسب الضغط النهائي باستخدام جدول (A22). وضح العملية على مخطط T-s.

«Solution»

$P_1 = 1\,bar = 100\,kpa$, $T_1 = 300k$, $T_2 = 650k$, $\Delta s = 0$

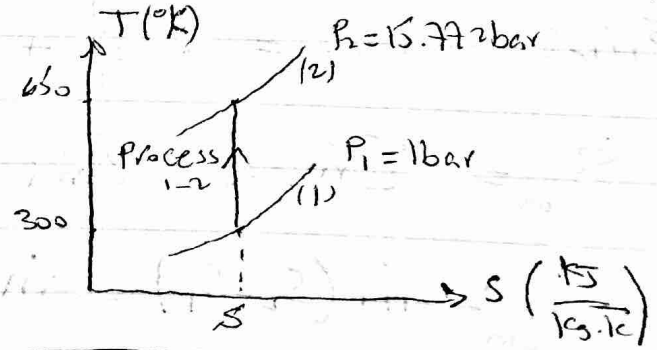
$$\therefore \Delta s = \overset{=0}{\cancel{\Delta s}} = s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1) - R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1)$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1)}{R}$$

$$\therefore P_2 = P_1\, e^{\frac{s^\circ(T_2) - s^\circ(T_1)}{R}} = 100\, e^{\frac{2.49364 - 1.70203}{0.287}} = 1577.2kPa$$

$P_2 = 15.772\,bar.$



6 يحتوي خزان جاسئ على غاز مثالي عند درجة حرارة 40°C يحرك بواسطة عجلة تجديف. وتبذل عجلة التجديف شغلاً على الغاز مقداره 200kJ. وقد لوحظ أن درجة الحرارة تبقى ثابتة أثناء هذه العملية نتيجة إنتقال الحرارة بين المنظومة والمحيط المجاور الموجود عند درجة حرارة 25°C. ① أوجد التغير في إنتروبيا الغاز المثالي. ② أوجد معجلة التغير الكلي في الإنتروبيا.

« solution »

$T = 40°C$, $W_2 = -200kJ$, $T = C$, $T_{surr} = 25°C$

أولاً نقوم بإيجاد التغير في إنتروبيا الغاز المثالي:

$$\therefore \Delta S = C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

وحيث أن $T = C$ فإن $\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 0$ ، وبما أن الخزان جاسئ $(V = C)$ فإن $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 0$.

$$\therefore \Delta S = 0 + 0 = 0$$

ثانياً معجلة التغير الكلي في الإنتروبيا:

$$\Delta S_{total} = S_{gen} = \underbrace{\Delta S_{system}}_{=0} + \Delta S_{surr} = 0 + \left(\frac{-Q_2}{T_{surr}}\right)$$

$$\Delta S_{total} = -\frac{Q_2}{T_{surr}}$$

ومن القانون الأول للديناميكا الحرارية:

$$,Q_2 = ,W_2 + \Delta U$$

$$,Q_2 = W_1 + W_2 + \Delta U$$

W_1: شغل الغاز

W_2: الشغل الناتج من عجلة التجديف

$$\boxed{\Delta U = 0} \Leftarrow \quad T = C \text{ و المادة غاز مثالي}$$

$$\therefore ,Q_2 = 0 - 200 + 0 = -200\,kJ$$

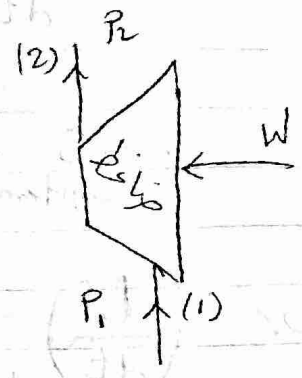
$$\therefore \Delta S_{total} = -\frac{,Q_2}{T_{surr}} = -\frac{-200}{25+273.15} = 0.6708\ \frac{kJ}{K}$$

---

7 ضغط هواء بواسطة ضاغط قدرته 8KW من P_1 إلى P_2. وقد حوفظ على درجة الحرارة للهواء ثابتة عند 25°C. أثناء هذه العملية عن طريق إنتقال الحرارة إلى المحيط المجاور الموجود عند درجة حرارة 10°C. أوجد المعدل الزمني لتغير إنتروبيا الهواء و كذلك المعدل الزمني لحصلة التغير الكلي في الإنتروبيا. هل تحقق هذه العملية القانون الثاني؟ أذكر الإفتراضات اللازمة لكل هذه المسألة.

«Solution»

$W = -8\,kW$, $T = 25^\circ C = C$, $T_{surr} = 10^\circ C$



أولاً نقوم بكتابة معادلتي القانون الأول والثاني للديناميكا الحرارية، ثم نحدد ماهي الفرضيات اللازمة لكل مسألة.

Mass Balance: $\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

Energy Balance: $\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{\tilde{V}_i}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{\tilde{V}_e}{2} + g z_e\right)$

نفرض أن تأثير طاقتي الحركة والوضع يمكن إهمالها. نلاحظ أنه لا يمكن إهمال تأثير إنتقال الحرارة لأن نص المسألة نص على أن هناك إنتقال للحرارة.

$$\therefore \dot{Q} + \dot{m} h_i = \dot{W} + \dot{m} h_e$$

$$\dot{Q} = \dot{W} + \dot{m}(h_e - h_i)$$

$$\dot{Q} = \dot{W} + \dot{m}\underbrace{(h_2 - h_1)}_{=0}$$

وحيث أن الهواء يمكن إفتراضه كغاز مثالي، وبما أن $T = C$

$$\therefore \Delta h = \Delta u = 0$$

$$\therefore \dot{Q} = \dot{W} = -8\,kW$$

$$\therefore \Delta S_{Total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr}$$

$$\text{or} \quad \left(\frac{dS}{dt}\right)_{total} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} + \left(\frac{dS}{dt}\right)_{surr}$$

$$\therefore \Delta S_{system} = \cancel{C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}^{=0} - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \qquad \left(\frac{kJ}{kg.K}\right)$$

$$\text{or} \quad \left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} = -\dot{m} R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \qquad \frac{kg}{s} \times \frac{kJ}{kg.K} = \left(\frac{kW}{K}\right)$$

في حالة الدخول للضاغط $P_1 v_1 = RT$

وأيضاً عند الخروج من الضاغط $P_2 v_2 = RT$

$$\therefore P_1 v_1 = P_2 v_2 \Rightarrow Pv = C$$

$$\therefore W = P_1 v_1 \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = P_1 v_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$\dot{W} = \dot{m} P_1 v_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = -\dot{m} P_1 v_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\because P_1 v_1 = RT$$

$$\therefore \dot{m} R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -\frac{\dot{W}}{T} \Rightarrow -\dot{m} R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{\dot{W}}{T}$$

$$\therefore \left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} = \frac{\dot{W}}{T} = \frac{-8}{25+273.15} = -0.0268 \ \frac{kW}{K}$$

$$\because \Delta S_{surr} = -\frac{\dot{Q}}{T_{surr}} \Rightarrow \left(\frac{dS}{dt}\right)_{surr} = -\frac{\dot{Q}}{T_{surr}} = -\frac{-8}{10+273.15} = 0.02825 \ \frac{kW}{K}$$

$$\therefore \Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr}$$

$$\dot{S}_{gen} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_{total} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} + \left(\frac{dS}{dt}\right)_{surr} = 0.00145 \ \frac{KW}{K}$$

$\therefore \dot{S}_{gen} > 0 \Rightarrow$ تحقق هذه العملية القانون الثاني للديناميكا الحرارية

---

8 جهاز مكبس وإسطوانة لاإحتكاكي يحتوي على سائل مادمشبع عند 200kpa . إنتقلت كمية من الحرارة قدرها 450kJ إلى الماء من مصدر درجة حرارته 500°C ، وتبخر جزء من السائل عندضغط ثابت . أوجد محصلة التغير الكلي للإنتروبيا لهذه العملية . هل هذه العملية إنعكاسية أم غير إنعكاسية أم غير ممكنة . أفرض كتلة السائل 1kg .

"solution"

$P = 200kpa$, state(1): saturated Liquid, $Q_2 = +450kJ$, $T_{surr} = 500°C$

state(2): Mixture (Liquid + Vapor), $P = C$

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr}$$

$$\Delta S_{system} = m(s_2 - s_1)$$

$$\Delta S_{surr} = -\frac{Q_2}{T_{surr}} = -\frac{+450}{500+273.15} = -0.582 \ \frac{KJ}{K}$$

$$\because {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U$$

$$\text{at } P=c \Rightarrow {}_1Q_2 = \Delta H = m(h_2 - h_1)$$

$$+450 = 1 \times (h_2 - 504.7)$$

From Table (A3): $h_1 = h_f$

$$\therefore h_2 = 954.7 \frac{KJ}{kg}$$

$$\therefore x = \frac{h_2 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{954.7 - 504.7}{2706.7 - 504.7} = 0.204$$

$$\therefore S_2 = S_f + x(S_g - S_f) = 1.5301 + 0.204(7.1271 - 1.5301)$$

$$S_2 = 2.6739 \frac{KJ}{kg.K}$$

$$\therefore \Delta S_{system} = m(S_2 - S_1) = 1 \times (2.6739 - 1.5301) = 1.1438 \frac{KJ}{K}$$

$S_{gen} > 0$ ⇐ لا انعكاسية

$$\therefore S_{gen} = \Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr} = 1.1438 - 0.582 = 0.5618 \frac{KJ}{K}$$

---

9 إذا خضعت إنتروبيا مائع لتشغيل لدورة كارنو أثناء عملية نبذ حرارة عند درجة حرارة ثابتة بمقدار $0.6 \frac{KJ}{K}$. فإذا كانت درجة حرارة البالوعة $30^\circ C$، أوجد ① كمية الحرارة المنتقلة إلى البالوعة ② التغير في إنتروبيا البالوعة ③ محصلة التغير الكلي للإنتروبيا أثناء هذه العملية.

«Solution»

$\Delta S_{system} = -0.6 \frac{KJ}{K}$, $T_{surr} = 30°C = 303.15K$

∵ دورة كارنو هي دورة مثالية (إنعكاسية).

$\therefore S_{gen} = \Delta S_{total} = 0$ ⇐ reversable

$\therefore \Delta S_{surr} = -\Delta S_{system} = 0.6 \frac{KJ}{K}$

$\Delta S_{surr} = \frac{Q_{surr}}{T_{surr}} \Rightarrow Q_{surr} = T_{surr} \Delta S_{surr} = 181.89 KJ$

---

15 قطعة ألومنيوم وزنها 196.2N ودرجة حرارتها 200°C وضعت في حالة تماس مع قطعة حديد وزنها 196.2N ودرجة حرارتها 100°C داخل حيز معزول حرارياً. أوجد درجة الحرارة النهائية للتوازن الحراري ومحصلة التغير الكلي للإنتروبيا. خذ الحرارة النوعية لكل من الألومنيوم والحديد $0.973 \frac{KJ}{kg.K}$ و $0.45 \frac{KJ}{kg.K}$ على الترتيب.

«Solution»

$m = \frac{W}{g} = \frac{196.2}{9.81} = 20 kg$ ← وزن

$\therefore {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U \Rightarrow \Delta U = 0$

$$\Delta U_{\text{حديد}} + \Delta U_{\text{ألومنيوم}} = 0$$

$$20 \times 0.45 (T_f - 100) + 20 \times 0.973 (T_f - 200) = 0$$

$$9T_f - 900 + 19.46T_f - 3892 = 0$$

$$\therefore T_f = 168.377\,^\circ C$$

$$\therefore \Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr} \quad \text{و} \quad (Q=0) \text{ لأن } \Delta S_{surr} = 0$$

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{\text{حديد}} + \Delta S_{\text{ألومنيوم}}$$

$$\Delta S_{total} = 20 \times 0.45 \ln\left(\frac{168.377+273}{100+273}\right) + 20 \times 0.973 \ln\left(\frac{168.377+273}{200+273}\right)$$

$$\therefore \Delta S_{total} = 1.5143 - 1.3461 = 0.1682 \ \frac{KJ}{K}$$

---

11 يحتوي خزان جاسئ معزول حرارياً حجمه $0.5m^3$ على $0.9kg$ من ثاني أكسيد الكربون عند ضغط $100kPa$. بذل شغل بواسطة عجلة تجديف على المنظومة حتى إرتفع الضغط داخل الخزان إلى $120kPa$. أوجد مفترضاً حرارة نوعية ثابتة، التغير في إنتروبيا ثاني أكسيد الكربون أثناء هذه العملية.

«Solution»

$Q_2 = 0$, $V = 0.5 m^3 = C$, $m = 0.9 kg$, $P_1 = 100 kPa$, $P_2 = 120 kPa$

$$\therefore \Delta S = m\Delta s = m\left[C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right]$$

وبافتراض أن ثاني أكسيد الكربون يسلك سلوك الغاز المثالي:

$$P_1 V = mRT_1 \Rightarrow T_1 = \frac{P_1 V}{mR}$$

$$R = \frac{\overline{R}}{M} = \frac{8.314}{44} = 0.18895 \frac{KJ}{kg.K}$$

$$\therefore T_1 = \frac{100 \times 0.5}{0.9 \times 0.18895} = 294.015 K$$

$$\therefore T_2 = \frac{120 \times 0.5}{0.9 \times 0.18895} = 352.827 K$$

$$T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{294.015 + 352.827}{2} = 323.421 K$$

From Table (A20): by using interpolation

300K	0.846
323.421K	C_p
350K	0.895

$$\therefore C_p = 0.86895 \frac{KJ}{kg.K}$$

$$\therefore \Delta S = 0.9\left[0.86895\ln\left(\frac{352.827}{294.015}\right) - 0.18895\ln\left(\frac{120}{100}\right)\right]$$

$$\therefore \Delta S = 0.1116\ \frac{kJ}{K}$$

---

12 يحتوي جهاز مكبس واسطوانة على 1.2kg من غاز النيتروجين عند ضغط 120kpa ودرجة حرارة 27°C. ضغط الغاز ببطء في عملية متعددة المسارات حيث $PV^{1.3} = C$ ، وانتهت العملية عن إنخفاض الحجم إلى النصف. أوجد التغير في إنتروبيا النيتروجين أثناء هذه العملية.

"Solution"

$m = 1.2kg$, $P_1 = 120kpa$, $T_1 = 27°C = 300.15K$, $PV^{1.3} = C$

$V_2 = 0.5V_1$

$$\Delta S = m\left[C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right]$$

$\Delta S = m\Delta s$ ، $P_1V_1 = mRT_1 \Rightarrow V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = 0.8912m^3$

$$\therefore P_1V_1^{1.3} = P_2V_2^{1.3} \Rightarrow P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.3}$$

$$P_2 = 120\left(\frac{V_1}{0.5V_1}\right)^{1.3} = 295.475\ kPa$$

$$\therefore P_2V_2 = mRT_2 \Rightarrow T_2 = \frac{P_2V_2}{Rm} = 369.528K$$

$$\therefore \Delta S = 1.2\left[C_{v,avg}\ln\left(\frac{369.528}{300.15}\right) + \frac{8.314}{28}\ln\left(\frac{0.5V_1}{V_1}\right)\right]$$

$$T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{300.15 + 369.528}{2} = 334.839K$$

From Table (A20):

300 K	0.743	
334.839 K	C_v	$\Rightarrow C_v = 0.7437 \frac{KJ}{kg.K}$
350 K	0.744	

$$\therefore \Delta S = -0.0614 \frac{KJ}{K}$$

---

13 ضغط هواء بإستقرار بواسطة ضاغط قدرته 5kW من 100kpa و 17°C إلى 600kpa و 167°C عندمعدل تدفق كتلة يساوي 1.6 $\frac{kg}{min}$. وقد انتقلت حرارة أثناء هذه العملية بين الضاغط والمحيط المجاور الذي درجة حرارته 17°C. أوجد ① المعدل الزمني لتغير إنتروبيا الهواء ② المعدل الزمني لحصيلة التغير الكلي للإنتروبيا أثناء هذه العملية. هل هذه العملية تحقق القانون الثاني ؟

«Solution»

$\dot{W} = -5kW$, $P_1 = 100kPa$, $T_1 = 17°C$, $P_2 = 600kPa$, $T_2 = 167°C$

$\dot{m} = 1.6 \frac{kg}{min} = 0.02667 \frac{kg}{s}$, $T_{surr} = 17°C$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} = \dot{m}\left[c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right]$$

$$T_{avg} = 365K \Rightarrow c_p = 1.0095 \ \frac{KJ}{kg.K}$$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} = 0.02667\left[1.0095 \ln\left(\frac{167+273}{17+273}\right) - 0.287 \ln\left(\frac{600}{100}\right)\right]$$

$$\therefore \left(\frac{dS}{dt}\right)_{system} = -0.00249 \ \frac{KW}{K}$$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{surr} = -\frac{\dot{Q}_2}{T_{surr}}$$

$$\dot{Q} + \dot{m}h_i = \dot{W} + \dot{m}h_e \Rightarrow \dot{Q} = \dot{W} + \dot{m}(h_e - h_i)$$

$$h_e - h_i = c_p(T_2 - T_1) = 1.0095(167-17) = 151.425 \ \frac{KJ}{kg}$$

$$\dot{Q}_2 = -5 + 0.02667 \times 151.425 = -0.9615 KW$$

$$\therefore \left(\frac{dS}{dt}\right)_{surr} = -\frac{-0.9615}{17+273} = 0.0032 \ \frac{KW}{K}$$

$$\therefore \dot{S}_{gen} = \left(\frac{dS}{dt}\right)_{Total} = -0.00249 + 0.0032 = 0.00071 \ \frac{KW}{K}$$

$\therefore \dot{S}_{gen} > 0 \Rightarrow$ تحقق هذه العلبة القانون الثاني $\therefore$

[14] ضغط هواء داخل جهاز مكبس واسطوانة من 100kpa و 17°C إلى 800kpa في عملية أيزنتروبية. أوجد درجة الحرارة النهائية والشغل المبذول أثناء هذه العملية.

«Solution»

$P_1 = 100kpa$, $T_1 = 17°C = 300.15K$, $P_2 = 800kpa$, $S_1 = S_2$

$$\Delta S = 0 = C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

لاحظ أنه هنا بما أن T_2 مجهولة $\Leftarrow$ C_p أيضاً مجهولة. لذلك نأخذ قراءات الجدول (A22)

$$\Delta S = 0 = S^\circ(T_2) - S^\circ(T_1) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$S^\circ(T_2) = S^\circ(T_1) + R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$S^\circ(T_2) = 1.70203 + 0.287 \ln\left(\frac{800}{100}\right) = 2.2988 \frac{KJ}{kg.K}$$

$2.27967 \frac{KJ}{kg.K}$ $\quad$ $530K$

$2.2988 \frac{KJ}{kg.K}$ $\quad$ T_2

$2.29906 \frac{KJ}{kg.K}$ $\quad$ $540K$

$\therefore T_2 = 539.87K$

في العملية الأيزونتروبية للغاز المثالي $PV^K = C$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-K} = \frac{mRT_2 - mRT_1}{1-K}$$

$$\therefore {}_1W_2 = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-K}$$

$$\therefore \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} \Rightarrow \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{K-1}{K}\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$\frac{K-1}{K} = \frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{539.87}{300.15}\right)}{\ln\left(\frac{800}{100}\right)} = 0.2823$$

$$K - 1 = 0.2823K \Rightarrow K = 1.39335$$

$$\therefore P_1V_1 = mRT_1 \Rightarrow mR = \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{100 \times V_1}{300}$$

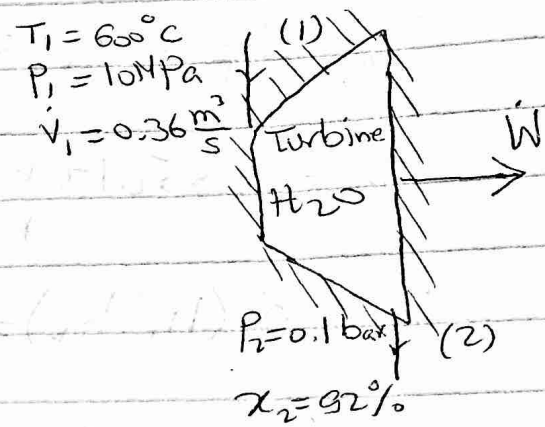
لاحظ أن الحجم مجهول ولا يمكن إيجاده، لذلك نقوم بإيجاد الشغل لكل كيلوجرام.

$${}_1w_2 = \frac{{}_1W_2}{m} = \frac{R(T_2 - T_1)}{1-K}$$

$${}_1w_2 = \frac{0.287(539.87 - 300.15)}{1 - 1.39335} = -174.9 \ \frac{kJ}{kg}$$

15 يتدفق ماء تحت ظروف مستقرة خلال توربين معزول كالمبين بالشكل. بإهمال تأثير طاقتي الحركة والوضع، احسب ① معدل تدفق الكتلة بوحدة kg/s ② قدرة التوربين بوحدة kW ③ معدل الإنتروبي المتولدة بوحدة kW/K ④ الكفاءة الأيزونتروبية. ارسم عملية T-s

Solution



- Mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

From Table (A4):

$$v_1 = 0.03837 \frac{m^3}{kg}, \quad u_1 = 3241.7 \frac{kJ}{kg}, \quad h_1 = 3625.3 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_1 = 6.9029 \frac{kJ}{kg.K}$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{0.36}{0.03837} = 9.3823 \frac{kg}{s}$$

Energy Balance:

$$\cancel{\dot{Q}} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \cancel{\frac{V_i^2}{2}} + \cancel{g z_i}\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \cancel{\frac{V_e^2}{2}} + \cancel{g z_e}\right)$$

$$\dot{m} h_i = \dot{W} + \dot{m} h_e \Rightarrow \dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$$

$$\therefore \dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

From Table (A3): at $P = 0.1\,bar$, $T_{sat} = 45.81°C$

$h_f = 191.83 \frac{kJ}{kg}$, $h_g = 2584.7 \frac{kJ}{kg}$

$S_f = 0.6493 \frac{kJ}{kg.K}$, $S_g = 8.1502 \frac{kJ}{kg.K}$

$\therefore h_2 = h_f + X_2(h_g - h_f) = 191.83 + 0.92(2584.7 - 191.83)$

$\therefore h_2 = 2393.2704 \frac{kJ}{kg}$

$S_2 = S_f + X_2(S_g - S_f) = 0.6493 + 0.92(8.1502 - 0.6493)$

$\therefore S_2 = 7.55013 \frac{kJ}{kg.K}$

$\therefore \dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) = 9.3823(3625.3 - 2393.2704)$

$\therefore \dot{W} = 11.559\,MW$

- Entropy Balance:

$$\Sigma \dot{m}_e s_e - \Sigma \dot{m}_i s_i = \Sigma \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

$$\dot{m}(s_e - s_i) = \underbrace{\frac{\dot{Q}}{T}}_{=0} + \dot{S}_{gen}$$

$\therefore \dot{S}_{gen} = \dot{m}(S_2 - S_1) = 9.3823(7.55013 - 6.9029)$

$\therefore \dot{S}_{gen} = 6.0725 \frac{kW}{K}$

$$\eta = \frac{W_a}{W_s} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

$h_1 = 3625.3 \frac{kJ}{kg}$, $h_{2a} = 2393.2704 \frac{kJ}{kg}$

$h_{2s} \Rightarrow$ when $s_2 = s_1 = 6.9029 \frac{kJ}{kg.K}$ And $P_2 = 0.1$ bar

From Table (A3): at $P_2 = 0.1$ bar

$\therefore s_f < s_2 < s_g$

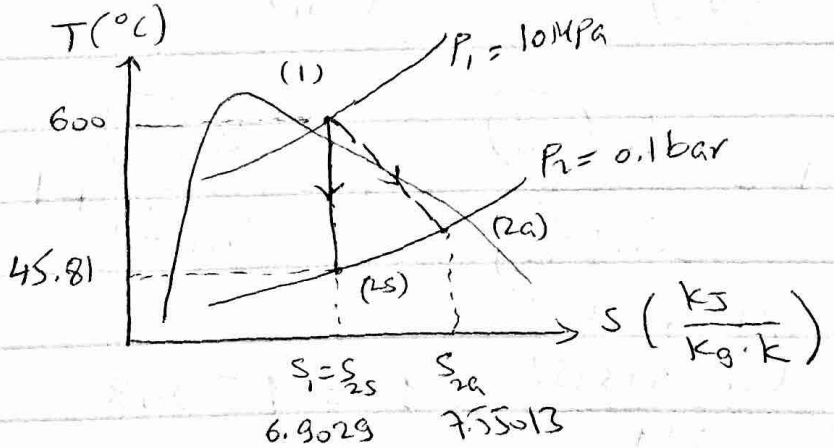
$\therefore$ state is saturated Mixture (Liq + Vap)

$$\therefore x_{2s} = \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.9029 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493} = 0.8337$$

$$\therefore h_{2s} = h_f + x_{2s}(h_g - h_f) = 191.83 + 0.8337(2584.17 - 191.83)$$

$$\therefore h_{2s} = 2186.323 \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore \eta = \frac{3625.3 - 2393.2704}{3625.3 - 2186.323} = 0.8562 = 85.62\%$$



16 غاز مثالي كتلته 0.5kg يشغل حجم $0.17m^3$ وسمح له بالتمدد طبقاً للعلاقة $pV^k=C$ حتى أصبح حجمه $0.425m^3$. خلال التمدد إنخفضت درجة الحرارة من 366°C إلى 170°C. إذا كان الضغط الإبتدائي للغاز 5.39bar. احسب ① الشغل المنتج خلال هذه العملية (kJ), ② أوجد قيمة كلاً من C_p و C_v, ③ التغير في الإنتروبي $\left[\frac{kJ}{K}\right]$.

«Solution»

$m=0.5kg$, $V_1=0.17m^3$, $V_2=0.425m^3$, $T_1=366°C$, $T_2=170°C$

$P_1=5.39bar=539kpa$, $pV^k=C$

$\therefore$ process is polytropic $\Rightarrow$ $W_2=\frac{P_2V_2-P_1V_1}{1-K}$

$$P_1V_1^k=P_2V_2^k \Rightarrow P_2=P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$$

نقوم بإيجاد قيمة K أولاً:

$$\frac{T_2}{T_1}=\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \Rightarrow \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)=(k-1)\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

$$\therefore k-1=\frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)} \Rightarrow K=\frac{\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)}+1$$

$$K=\frac{\ln\left(\frac{170+273.15}{366+273.15}\right)}{\ln\left(\frac{0.17}{0.425}\right)}+1=1.3998$$

$$\therefore P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k = 539\left(\frac{0.17}{0.425}\right)^{1.3998} = 149.469\ kPa$$

$$C_v = \frac{R}{k-1}\ ,\ C_p = \frac{kR}{k-1} = kC_v$$

From state (1): $P_1V_1 = mRT_1 \Rightarrow R = \frac{P_1V_1}{mT_1} = \frac{539 \times 0.17}{0.5 \times (366+273.15)}$

$$\therefore R = 0.287\ \frac{kJ}{kg.k} \Leftarrow Air$$

$$\therefore C_v = \frac{0.287}{1.3998-1} = 0.71786\ \frac{kJ}{kg.k}$$

$$\therefore C_p = kC_v = 1.3998 \times 0.71786 = 1.00486\ \frac{kJ}{kg.k}$$

$$\Delta S = m\Delta s = m\left[C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)\right]$$

$$\Delta S = 0.5\left[1.00486 \ln\left(\frac{170+273.15}{366+273.15}\right) - 0.287 \ln\left(\frac{149.469}{539}\right)\right]$$

$$\Delta S = 51.54 \times 10^{-6}\ \frac{kJ}{k}$$

---

17 يوجد سائل ماء مشبع عند درجة حرارة 100°C داخل تجهيز مكبس وإسطوانة، حيث يمكن تحاول كتلة المكبس. سخن الماء بعدها إلى أن تبخرت آخر قطرة منه، بينما يتحرك المكبس أثناءها بحرية داخل الإسطوانة. فإذا كان تسخين الماء تم في عملية إنعكاسية

داخلياً عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين، أوجد الشغل المبذول من المنظومة و إنتقال الحرارة إليها لكل وحدة كتلة من بخار بإستخدام التغير في الإنتروبي. أرسم مخطط P-v للشغل المبذول ومخطط T-s للحرارة المنتقلة.

"Solution"

State (1): saturated Liquid

$T_1 = T_{sat} = 100°C$

State (2): saturated Vapor

Process 1-2: reversable, P=C, T=C

$$\therefore \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \cancel{S_{gen}}^{=0}$$

$$\Delta S = \frac{1}{T}\int_1^2 \delta Q \Rightarrow \Delta S = \frac{{}_1Q_2}{T}$$

$$\therefore {}_1Q_2 = T\Delta S = mT\Delta s = mT(s_2 - s_1)$$

From Table (A2): at $T = 100°C$, $P_{sat} = 101.4\ kPa$

$$v_f = 1.0435\times10^{-3}\ \frac{m^3}{kg},\ v_g = 1.673\ \frac{m^3}{kg}$$

$$u_f = 418.94\ \frac{kJ}{kg},\ u_g = 2506.5\ \frac{kJ}{kg}$$

$$s_f = 1.3069\ \frac{kJ}{kg.k},\ s_g = 7.3549\ \frac{kJ}{kg.K}$$

$$\because {}_1Q_2 = mT(S_2 - S_1) \Rightarrow {}_1q_2 = \frac{{}_1Q_2}{m} = T(S_2 - S_1)$$

$${}_1q_2 = (100 + 273.15)\left[7.3549 - 1.3069\right] = 2256.81 \ \frac{kJ}{kg}$$

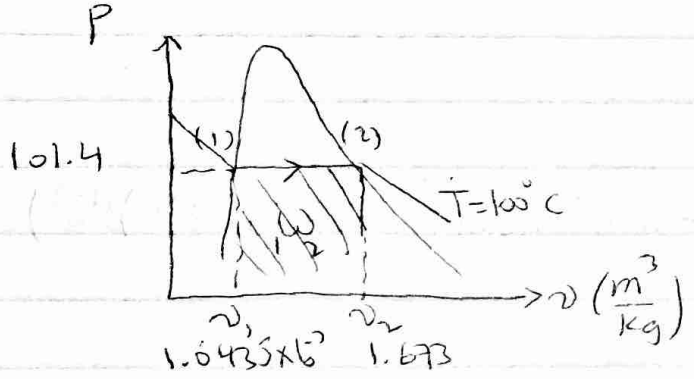
$$\because {}_1Q_2 = {}_1W_2 + \Delta U \Rightarrow {}_1q_2 = {}_1w_2 + \Delta u$$

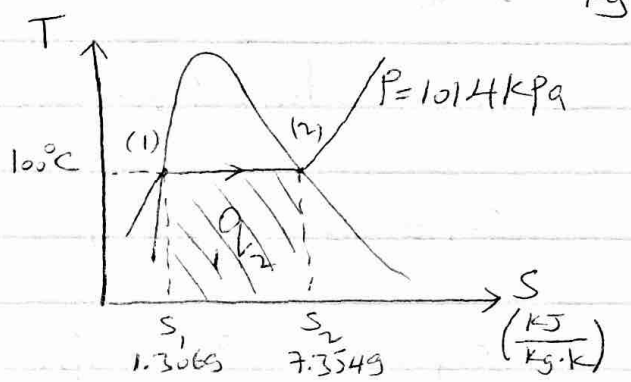
$${}_1w_2 = {}_1q_2 - \Delta u = 2256.81 - (2506.5 - 418.94)$$

$${}_1w_2 = 169.25 \ \frac{kJ}{kg}$$

For checks: $\because P = C \Rightarrow {}_1W_2 = P(V_2 - V_1)$

$$\therefore {}_1w_2 = P(v_2 - v_1) = 101.4\left(1.673 - 1.0435 \times 10^{-3}\right) = 169.53 \ \frac{kJ}{kg}$$





---

18 اسطوانة بها مكبس متحرك تحتوي على ماء عند 5MPa وجودة 70% وكان الحجم عندها 26.42L. الآن بدأ يتمدد إلى ضغط 2MPa ونتيجة لإضافة كمية من الحرارة مقدارها 800kJ من منبع كبير عند 400°C فقد إدعى أحدهم أن الماء يبذل شغل مقداره

224 KJ . هل هذا الإدعاء ممكن ؟ بين ذلك بناء على مبدأ الزيادة في الإنتروبي ؟

((Solution))

$P_1 = 5MPa$, $x_1 = 0.7$, $V_1 = 26.42L$, $P_2 = 2MPa$

, $Q_2 = 800KJ$, $T_{surr} = 400°C$, , $W_2 = 224KJ$

$$\therefore S_{Gen} = \Delta S_{Total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surrounding}$$

$$\Delta S_{system} = m(s_2 - s_1)$$

From state (1):

$$v_1 = v_f + x_1(v_g - v_f) = 1.2859 \times 10^{-3} + 0.7(0.03944 - 1.2859 \times 10^{-3})$$

$$v_1 = 0.02799 \ m^3/kg$$

$$\therefore m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{26.42 \times 10^{-3}}{0.02799} = 0.94378 \ kg$$

$$u_1 = u_f + x_1(u_g - u_f) = 1147.8 + 0.7(2597.1 - 1147.8)$$

$$u_1 = 2162.31 \ \frac{KJ}{kg}$$

$$s_1 = s_f + x_1(s_g - s_f) = 2.5202 + 0.7(5.5734 - 2.5202)$$

$$s_1 = 5.05744 \ \frac{KJ}{kg.K}$$

$\therefore \Delta U = {}_1Q_2 - {}_1W_2 = 800 - 224 = 576\ kJ$

$\Delta u = \frac{\Delta U}{m} = \frac{576}{0.94378} = 610.3117\ \frac{kJ}{kg}$

$u_2 - u_1 = 610.3117\ \frac{kJ}{kg}$

$\therefore u_2 = 610.3117 + 2162.31 = 2772.6217\ \frac{kJ}{kg}$

From Table (A3): at $P = 2MPa = 20\ bar$

$u_f = 906.44\ \frac{kJ}{kg}$, $u_g = 2600.3\ \frac{kJ}{kg}$

$\therefore u_2 > u_g$

$\therefore$ State (2) is superheated vapor

From Table (A4):

$2736.4\ \frac{kJ}{kg}$	$6.6828\ \frac{kJ}{kg.k}$
$2772.6217\ \frac{kJ}{kg}$	S_2
$2807.9\ \frac{kJ}{kg}$	$6.8452\ \frac{kJ}{kg.k}$

$\therefore S_2 = 6.765\ \frac{kJ}{kg.k}$

$\therefore \Delta S_{system} = 0.94378(6.765 - 5.05744) = 1.61156\ \frac{kJ}{K}$

$$\Delta S_{surr} = -\frac{Q_2}{T_{surr}} = -\frac{800}{400+273.15} = -1.18844 \frac{kJ}{K}$$

$$\therefore S_{gen} = \Delta S_{Total} = 1.61156 - 1.18844 = 0.42312 \frac{kJ}{K}$$

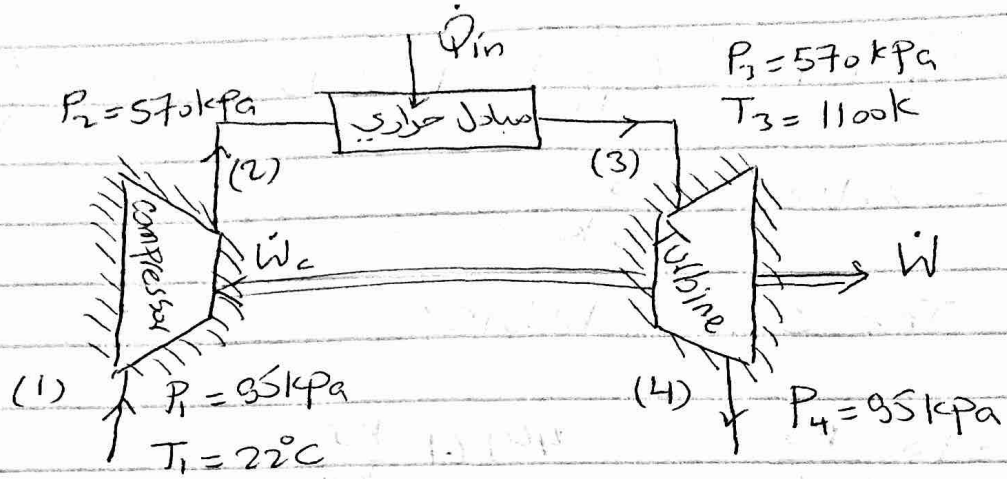
$$\therefore S_{gen} > 0 \Rightarrow$$ هذا الإجراء ممكن

---

19 يبين الشكل التالي محطة توربين غازي عند حالة مستقرة حيث يدخل الهواء إلى الضاغط بمعدل زمني لتدفق الكتلة يساوي 5kg/s وعند ضغط ودرجة حرارة 95kpa و 22°C على الترتيب، ويخرج عند ضغط 570kpa. ويمر الهواء بردها خلال مبادل حراري قبل دخوله إلى التوربين عند ضغط ودرجة حرارة 570kpa و 1100k على الترتيب. ويخرج الهواء من التوربين عند ضغط 95kpa. الضاغط والتوربين كاظمان للحرارة كما يمكن تجاهل تأثيرات الطاقة الحركية والطاقة الوضعية. أرسم مخطط T-s للمحطة وأوجد حصيلة القدرة المنتجة في هذه المحطة بوحدات kW، إذا كان:

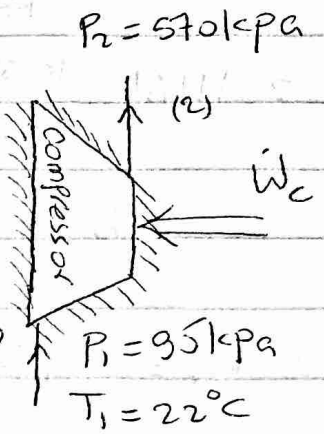
① لاتوجد انكاسيات داخلية داخل الضاغط والتوربين.

② كفاءة كل من الضاغط والتوربين الأيزنتروبية 82% و 87% على الترتيب.



((Solution))

$\dot{m} = 5\,kg/s$, Air



①

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 5\,kg/s$$

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right) \quad (1)$$

$$\dot{m} h_1 = \dot{W}_c + \dot{m} h_2 \Rightarrow \boxed{\dot{W}_c = \dot{m}(h_1 - h_2)}$$

$$\Sigma \dot{m}_e s_e - \Sigma \dot{m}_i s_i = \sum \frac{\dot{Q}}{T}_{=0} + \dot{S}_{gen}^{\,=0}$$

$$\dot{m}(s_e - s_i) = 0 \Rightarrow s_i = s_e \quad \text{or} \quad \Delta S = 0$$

From Table (A22):

at $T_1 = 22°C = 295\,K$

$$h_1 = 295.17 \frac{kJ}{kg}, \quad s_1^\circ = 1.68515$$

$$\therefore \Delta S = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0$$

$$\therefore s_2^\circ = s_1^\circ + R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 1.68515 + 0.287\ln\left(\frac{570}{95}\right)$$

$$\therefore s_2^\circ = 2.15938 \ \frac{kJ}{kg.k}$$

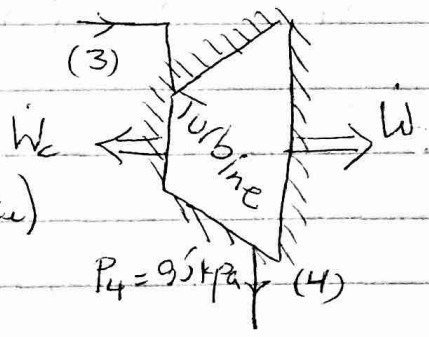
From The same Table:

$2.08870 \ \frac{kJ}{kg.k}$	$441.61 \ \frac{kJ}{kg}$
$2.15938 \ \frac{kJ}{kg.k}$	h_2
$2.11161 \ \frac{kJ}{kg.k}$	$451.80 \ \frac{kJ}{kg}$

$$\therefore h_2 = 490.8387 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore \dot{W}_c = 5(295.17 - 490.8387) = -978.3435 \ kW$$

$P_3 = 570 kPa$, $T_3 = 1100 K$



$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 5 kg/s$$

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$$

$$\dot{m}h_3 = \dot{W}_{net} + \dot{W}_c + \dot{m}h_4$$

$$\therefore \dot{W}_{net} = \dot{m}(h_3 - h_4) - \dot{W}_c$$

at $T_3 = 1100K \Rightarrow h_3 = 1161.07 \ \frac{kJ}{kg}$, $s_3^\circ = 3.07732 \ \frac{kJ}{kg.k}$

$$\sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} \Rightarrow s_i = s_e \Rightarrow \Delta S = 0$$

$$0 = S^\circ_4 - S^\circ_3 - R \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right)$$

$$\therefore S^\circ_4 = S^\circ_3 + R \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right) = 3.07732 + 0.287 \ln\left(\frac{95}{570}\right)$$

$$S^\circ_4 = 2.563085 \ \frac{kJ}{kg.k}$$

$2.55731 \ \frac{kJ}{kg.k}$ $\quad$ $702.52 \ \frac{kJ}{kg}$

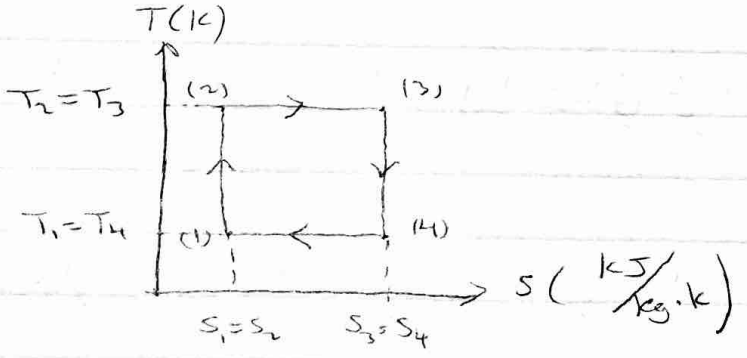
$2.563085 \ \frac{kJ}{kg.k}$ $\quad$ h_4

$2.57277 \ \frac{kJ}{kg.k}$ $\quad$ $713.27 \ \frac{kJ}{kg}$

$$\therefore h_4 = 706.5356 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore \dot{W}_{net} = 5(1161.07 - 706.5356) - 978.3435$$

$$\dot{W}_{net} = 1294.3285 \ kW$$



(2) $\therefore \eta_c = 0.82 = \frac{\dot{W}_s}{\dot{W}_a}$

$$\therefore \dot{W}_{ca} = \frac{\dot{W}_s}{0.82} = \frac{-978.3435}{0.82} = -1193.102 \ kW$$

$$\therefore \eta_t = 0.85 = \frac{\dot{W}_a}{\dot{W}_s}$$

$$\dot{W}_{t_a} = 0.85\,\dot{W}_{t_s} = 0.85(1294.3285 + 978.3335)$$

$$\dot{W}_{t_a} = 1931.7712\ kW$$

$$\therefore \dot{W}_{net_a} = \dot{W}_{t_a} - \dot{W}_{c_a} = 1931.7712 - 1193.102 = 738.6692\ kW$$

لاحظ أنه في الخطوة ① لا توجد انكاسيات داخل الضاغط والتوربين، وبالتالي فإن شغل الضاغط يكون أقل ما يمكن وشغل التوربين يكون أكبر ما يمكن. وذلك لأن الكفاءة الأيزنتروبية لكليهما في هذه الحالة تساوي 100%.

في الخطوة ② الكفاءتين أقل من 100% وبالتالي الشغل المسحوب من قبل الضاغط أكبر من الشغل المثالي والشغل الصافي المحطة أقل من الشغل الصافي في الحالة المثالية.

---

[20] يدخل بخار ماء إلى توربين بخاري يعمل عند الحالة المستقرة والتدفق المستقر عند 3MPa و 400°C بسرعة 160m/s ويخرج منها عند 100°C وسرعة 100m/s كبخار مشبع. يتم التبادل الحراري بين التوربين والمحيط المحاور مقدارها 3kJ/kg وكانت درجة حرارة

المحيط تساوي 350K . أوجد بالمعطيات السابقة أولاً:

① الشغل النوعي الذي تنتجه التوربين.

② الإنتروبيا المتولدة أثناء العملية.

ثانياً: بفرض أن التوربين كاظم للحرارة وأن العملية إنعكاسية تماماً. احسب الكفاءة الأيزونتروبية.

«Solution»

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g\cancel{Z_i}\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g\cancel{Z_e}\right)$$

$$\dot{W} = \dot{Q} + \dot{m}\left(h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2}\right)$$

$$W = q + h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2}$$

From Table (A4):

$$h_i = 3230.9 \frac{KJ}{kg} \quad , s_i = 6.9212 \frac{KJ}{kg.K}$$

From Table (A2):

$$h_e = h_g = 2676.1 \frac{KJ}{kg} \quad , s_e = s_g = 7.3549 \frac{KJ}{kg.K}$$

$$W = 30 + 3230.9 - 2676.1 + \frac{160^2 - 100^2}{2000} = 592.6 \frac{KJ}{kg}$$

$$\Sigma \dot{m}_e s_e - \Sigma \dot{m}_i s_i = \Sigma \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

$$\dot{m}(s_e - s_i) = \frac{\dot{Q}}{T_{surr}} + \dot{S}_{gen}$$

$$\therefore \dot{S}_{gen} = \dot{m}(s_e - s_i) - \frac{\dot{Q}}{T_{surr}}$$

$$s_{gen} = s_e - s_i - \frac{q}{T_{surr}} = 7.3549 - 6.9212 - \frac{30}{350}$$

$$s_{gen} = 0.34799 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore \dot{S}_{gen} = 0, \ \dot{Q} = 0 \Rightarrow s_i = s_e \Rightarrow \Delta S = 0$$

$$s_e = s_i = 6.9212 \ \frac{kJ}{kg.K}$$

From Table A2 at $T = 100^\circ C$

$$s_f = 1.3069 \ \frac{kJ}{kg.K}, \quad s_g = 7.3545 \ \frac{kJ}{kg.K}$$

$$\therefore x = \frac{6.9212 - 1.3069}{7.3549 - 1.3069} = 0.9283$$

$$\therefore h_e = h_f + x(h_g - h_f) = 419.04 + 0.9283(2676.1 - 419.04)$$

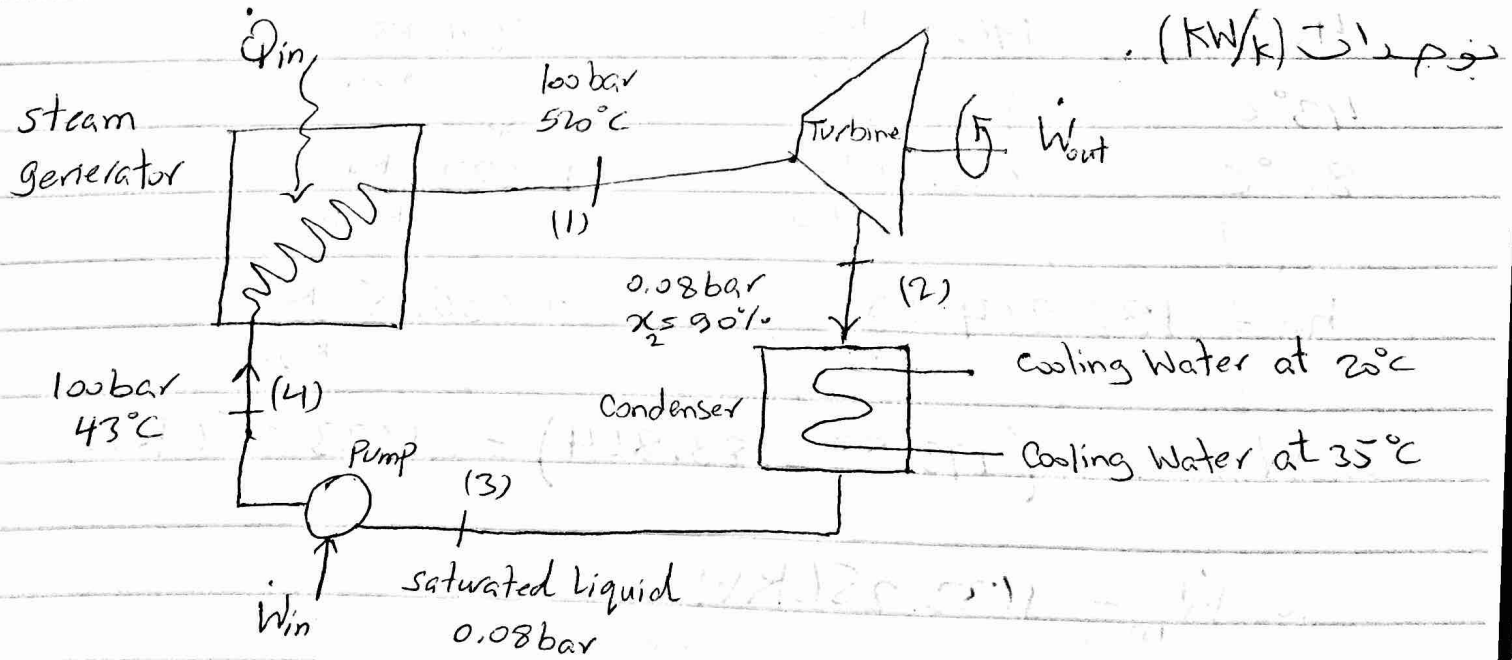
$$\therefore h_e = 2514.247 \ \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore w = \cancel{q}^{\,=0} + h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} = 3230.5 - 2514.247 + \frac{160^2 - 100^2}{2000}$$

$$w = 724.453 \ kJ/kg$$

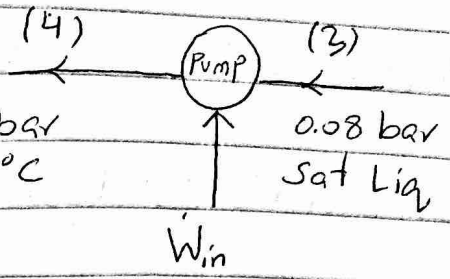
$$\eta = \frac{W_a}{W_s} = \frac{552.6}{724.458} = 0.818 = 81.8\ \%$$

21 يبين الشكل المرفق محطة قدرة بخارية بسيطة تعمل على حالة مستقرة بالماء كمائع تشغيل. أعطيت البيانات عند النقاط المهمة على الشكل. كان معدل تدفق المياه المارة خلال الوحدات هو 104 kg/s. يمكن تجاهل تأثيرات إنتقال الحرارة وتأثيرات الطاقة الحركية وطاقة الوضع. احسب ① صافي الشغل (صافي القدرة) بوحدات (MW). ② الكفاءة الحرارية. ③ كفاءة التوربين الأيزونتروبية. ④ كفاءة المضخة الأيزونتروبية. ⑤ معدل تدفق كتلة مياه التبريد بـ (kg/s) ⑥ معدلات توليد الإنتروبيا لكل من التوربين و المكثف و المضخة بوحدات (kW/K).



« Solution »

$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$



$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 109 \frac{kg}{s}$

$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$

$\dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$

$h_i = h_f = 173.88 \frac{kJ}{kg}$, $S_i = S_f = 0.5926 \frac{kJ}{kg.K}$

From Table (A3): at $P = 100 bar \Rightarrow T_{sat} = 311.1\,^\circ C$

$\therefore T_e < T_s \Rightarrow$ state (4) is compressed liquid

From Table (A5):

40 °C	176.38 $\frac{kJ}{kg}$	0.5686 $\frac{kJ}{kg.K}$
43 °C	h_e	S_e
80 °C	342.83 $\frac{kJ}{kg}$	1.0688 $\frac{kJ}{kg.K}$

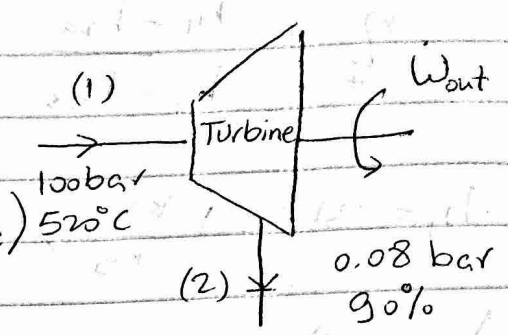
$h_e = 188.864 \frac{kJ}{kg}$, $S_e = 0.606115 \frac{kJ}{kg.K}$

$\therefore \dot{W} = 109(173.88 - 188.864) = -1633.256 KW$

$\therefore \dot{W}_{in} = 1633.256 KW$

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} = 109 \frac{kg}{s}$$



$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$$

From Table (A4):

$$h_i = 3425.1 \frac{kJ}{kg}, \quad s_i = 6.6622 \frac{kJ}{kg.K}$$

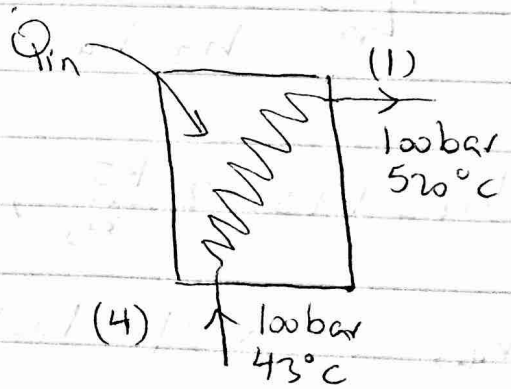
From Table (A3):

$$h_e = 173.88 + 0.9(2577 - 173.88) = 2336.688 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_e = 0.5926 + 0.9(8.2287 - 0.5926) = 7.46509 \frac{kJ}{kg.K}$$

$$\dot{W}_{out} = 109(3425.1 - 2336.688) = 118.6369 MW$$

$$\therefore \dot{W}_{net} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in} = 118.6369 - 1.633256 = 117 MW$$



$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_{in} = 109(3425.1 - 188.864)$$

$$\therefore \dot{Q}_{in} = 352.75 MW$$

$$\therefore \eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{117}{352.75} = 33.17\%$$

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

$h_1 = 3425.1 \frac{KJ}{kg}$, $h_{2a} = 2336.688 \frac{KJ}{kg}$

h_{2s} when $P = 0.08$ bar and $s_2 = s_1 = 6.6622 \frac{KJ}{kg.K}$

From Table (A3): at $P = 0.08$ bar

$$x_{2s} = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6622 - 0.5926}{8.2287 - 0.5926} = 0.79486$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s}(h_g - h_f) = 173.88 + 0.79486(2577 - 173.88)$$

$$\therefore h_{2s} = 2084.02 \frac{KJ}{kg}$$

$$\therefore \eta_t = \frac{3425.1 - 2336.688}{3425.1 - 2084.02} = 81.16\ \%$$

$$\eta_p = \frac{h_3 - h_{4s}}{h_3 - h_{4a}}$$

$h_3 = 173.88 \frac{KJ}{kg}$, $h_{4a} = 188.864 \frac{KJ}{kg}$

h_{4s} when $P = 100$ bar And $s_4 = s_3 = 0.5926 \frac{KJ}{kg.K}$

From Table (A3): at $P = 100$ bar

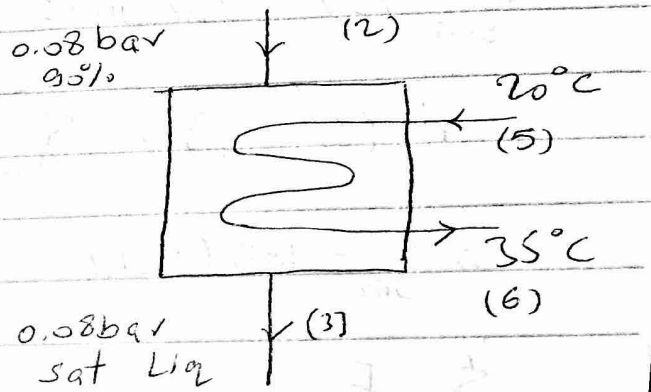
$\therefore s_4 < s_f \Rightarrow$ state (4s) is compressed Liquid

From Table (A5):

$0.5686 \frac{kJ}{kg.k}$	$176.38 \frac{kJ}{kg}$
$0.5926 \frac{kJ}{kg.k}$	h_{4s}
$1.0688 \frac{kJ}{kg.k}$	$342.83 \frac{kJ}{kg}$

$\therefore h_{4s} = 184.3664 \frac{kJ}{kg}$

$\therefore \eta_p = \frac{173.88 - 184.3664}{173.88 - 188.864} = 69.98\%$



$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$

$\dot{m}_2 + \dot{m}_5 = \dot{m}_3 + \dot{m}_6$

$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right)$

$\dot{W} = \Sigma \dot{m}_i h_i - \Sigma \dot{m}_e h_e$

$\dot{W} = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_5 h_5 - (\dot{m}_3 h_3 + \dot{m} h_6)$

$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$ & $\dot{m}_2 = \dot{m}_3$ (ثابت)

$\dot{W} = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_2 h_3 - \dot{m}_5 h_6 = 0$

$\dot{m}_5 (h_5 - h_6) = \dot{m}_2 (h_3 - h_2)$

$$\therefore \dot{m}_{\text{مياه التبريد}} = \dot{m}_5 = \dot{m}_2 \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_6}$$

$$h_2 = 2536.688 \frac{kJ}{kg}, \quad h_3 = 173.88 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_5 = h_{f@20^\circ C} = 83.96 \frac{kJ}{kg}, \quad h_6 = h_{f@35^\circ C} = 146.68 \frac{kJ}{kg}$$

$$\therefore \dot{m}_{\text{مياه التبريد}} = 109 \frac{173.88 - 2536.688}{83.96 - 146.68} = 3758.7065 \, kg/s$$

$\dot{S}_{gen}$ For Turbine:

$$\dot{m}(S_e - S_i) = \dot{S}_{gen}$$

$$\therefore \dot{S}_{gen} = 109(7.46509 - 6.6622) = 87.515 \frac{kW}{K}$$

$\dot{S}_{gen}$ For pump:

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}(S_e - S_i) = 109(0.60615 - 0.5926) = 1.473 \frac{kW}{K}$$

$\dot{S}_{gen}$ for the Condenser:

$$\dot{S}_{gen} = \Sigma \dot{m}_e S_e - \Sigma \dot{m}_i S_i = \dot{m}_3 S_3 + \dot{m}_6 S_6 - (\dot{m}_2 S_2 + \dot{m}_5 S_5)$$

$$\dot{S}_{gen} = \dot{m}_2 (S_3 - S_2) + \dot{m}_5 (S_6 - S_5)$$

$$S_5 = S_{f@20^\circ C} = 0.2966 \frac{kJ}{kg.k}, \quad S_6 = S_{f@35^\circ C} = 0.5053 \frac{kJ}{kg.k}$$

$$\dot{S}_{gen} = 109\left(0.5926 - 7.46509\right) + 3758.7065\left(0.5053 - 0.2966\right)$$

$$\dot{S}_{gen} = 35.34 \ \frac{kW}{K}$$

محمد خليفة الزوغبي

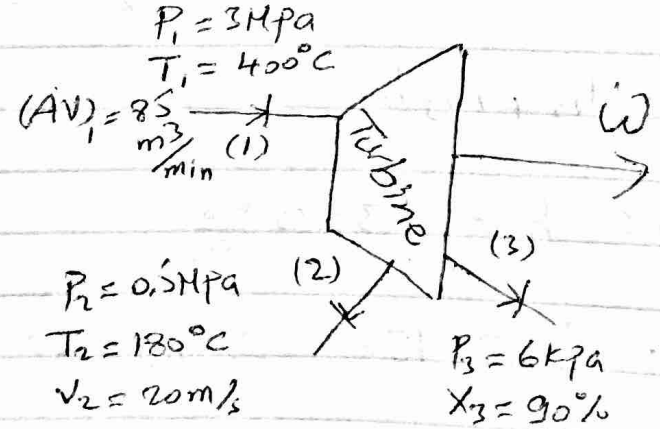
2016 - 12 - 28

« مسائل إضافية »

1 حل الامتحان النهائي الثاني ((Fall 2016)) :

① تم حل السؤال الأول في شبيت النهائي الثاني.

② توربين محزول تماماً يعمل في حالة مستقرة. يدخل البخار عند 3MPa و 400°C بمعدل تدفق حجمي $85 \frac{m^3}{min}$. تم إنتزاع بعض البخار من التوربين عند ضغط 0.5MPa و 180°C. بقية البخار يتمدد إلى ضغط 6kPa وكسر جفاف 90%. إجمالي القدرة المتولدة من التوربين هي 11400kW. يمكن إهمال تأثيرات الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة. احسب (1) معدل تدفق الكتلة للبخار في كل من المخرجين بـ kg/h (2) قطر القناة d_2 التي من خلالها يتم إنتزاع البخار بـ mm إذا كانت السرعة هناك هي 20m/s.



Solution

$$\because \dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

From Table A2: $\because T_1 > T_{cr}$

$\therefore$ State (1) is superheated vapor

From Table A4: $v_1 = 0.0994 \frac{m^3}{kg}$

$$\therefore \dot{m}_1 = \frac{\frac{85}{60}}{0.0994} = 14.252 \ kg/s$$

$\Rightarrow$ Mass Balance: SSSF

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \Rightarrow \boxed{\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = 14.252} \quad (1)$$

$\Rightarrow$ Energy Balance: SSSF

$$\cancel{\dot{Q}} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \cancel{\frac{V_i^2}{2}} + g\cancel{Z_i}\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \cancel{\frac{V_e^2}{2}} + g\cancel{Z_e}\right)$$

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{W} + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3$$

From Table A4: $h_1 = 3230.9 \frac{kJ}{kg}$

From Table A2: at $T_2 = 180^\circ C \Rightarrow P_{sat} = 10.02 \ bar$

$\therefore P_2 = 5\,bar < P_{sat}$

$\therefore$ State (2) is superheated vapor

From Table A4: $h_2 = 2812.0 \frac{KJ}{kg}$

From Table A3: at $P_3 = 6\,kPa = 0.06\,bar$

$h_f = 151.53 \frac{KJ}{kg}$, $h_g = 2567.4 \frac{KJ}{kg}$

$\therefore h_3 = h_f + X(h_g - h_f) = 151.53 + 0.9(2567.4 - 151.53)$

$\therefore h_3 = 2325.813 \frac{KJ}{kg}$

$\therefore 14.252 \times 3230.9 = 11400 + \dot{m}_2 \times 2812 + \dot{m}_3 \times 2325.813$

$$2812\dot{m}_2 + 2325.813\dot{m}_3 = 34646.7868 \quad \text{— (1)}$$

From equation (1) & (2):

$$\dot{m}_2 = 3.084 \frac{kg}{s} \quad , \quad \dot{m}_3 = 11.1682 \frac{kg}{s}$$

$\therefore \dot{m}_2 = \frac{A_2 V_2}{v_2} \Rightarrow A_2 = \frac{\dot{m}_2 v_2}{V_2}$

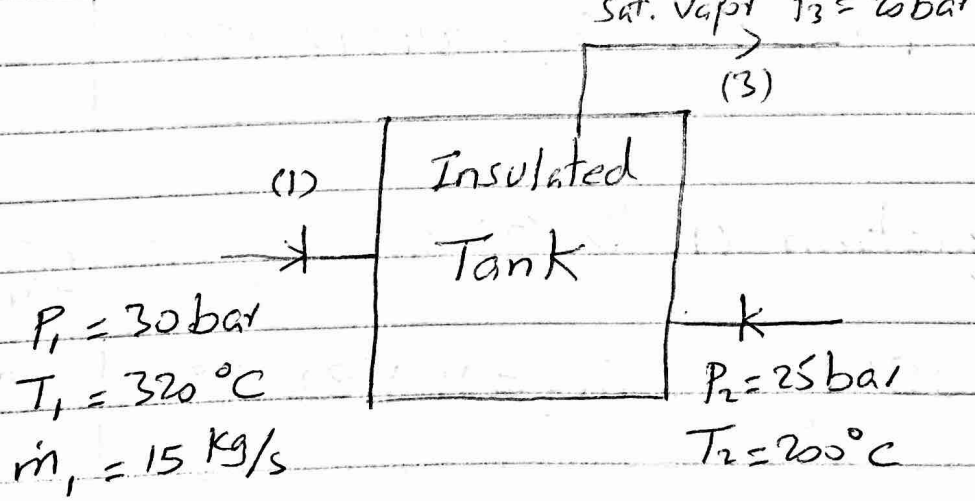
$v_2 = 0.4045 \frac{m^3}{kg}$

$$A_2 = \frac{3.084 \times 0.4045}{20} = 0.06237 m^2$$

$$\therefore A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 \Rightarrow d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = 0.28181 m = 281.81 mm$$

---

③ يدخل بخار بمعدل 15kg/s عند 30bar و 320 °C ، الخزان الحراري العازل في حالة مستقرة ، حيث يتم مزجه مع الماء السائل عند 25bar و 200°C لإنتاج بخاراً مشبعاً عند 20bar. يمكن إهمال التبادل الحراري فيما بين الخزان ومحيطه وتأثير طاقة الحركة والوضع. احسب (1) درجة حرارة البخار المشبع T_3. (2) معدل تدفق كتلة الماء السائل بـ kg/h. (3) معدل تدفق كتلة البخار المشبع بـ kg/h.



"وعليكم"

«solution»

$T_3 = T_{sat} = 212.4°C$

⇒ Mass Balance: SSSF

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \Rightarrow \boxed{\dot{m}_3 - \dot{m}_2 = 15 \frac{kg}{s}} \quad \text{— (1)}$$

⇒ Energy Balance: SSSF

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

$h_1 = 3043.4 \frac{kJ}{kg}$ ($h_2 = 852.8 \frac{kJ}{kg}$ ⇐ From Table A5

$h_3 = h_g = 2799.5 \frac{kJ}{kg}$

$$3043.4 \times 15 + 852.8 \dot{m}_2 = 2799.5 \dot{m}_3$$

$$\boxed{2799.5 \dot{m}_3 - 852.8 \dot{m}_2 = 45651} \quad \text{— (2)}$$

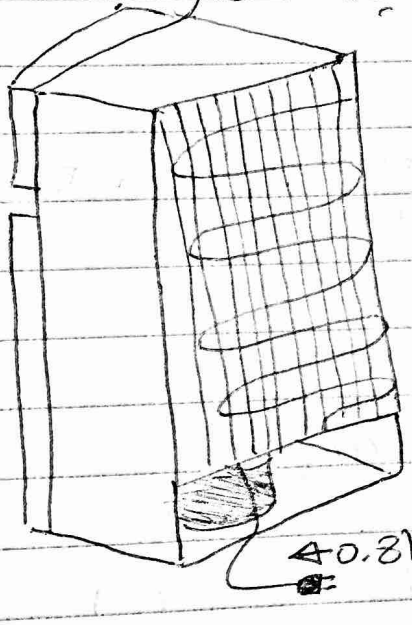
From Equation (1) & (2):

$\dot{m}_2 = 1.875 \frac{kg}{s}$ ($\dot{m}_3 = 16.875 \frac{kg}{s}$

$\therefore \dot{m}_2 = 6764.4 \frac{kg}{h}$ ($\dot{m}_3 = 60764.4 \frac{kg}{h}$

④ تعمل الثلاجة الموضحة في حالة مستقرة بمعامل أداء 4.5 وقدرة مدخلة 0.8kW. تطرح الطاقة من الثلاجة إلى المحيط عند 20°C بواسطة, لتبادل الحراري من الشباك الذي يبلغ متوسط درجة حرارته الطبية 28°C

اوجد (1) معدل الطاقة المطروحة للمحيط بال kW (2) أدنى درجة حرارة نظرية داخل الثلاجة بـ K. (3) الحد الأقصى للقدرة التبريدية بال kW والتي يمكن توليدها من دورة قوى تعمل فيما بين الشباك والمحيط. هل تنصح بإستخدام هذه الفكرة لتوليد القدرة؟



«solution»

$COP_{ref} = 4.5$, $\dot{W} = 0.8\,kW$, $T_L = 20°C$

$T = 28°C$

$$\therefore COP_{ref} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{W}\, COP_{ref}$$

$$\dot{Q}_L = 0.8 \times 4.5 = 3.6\,kW \Rightarrow \dot{Q}_H = \dot{W} + \dot{Q}_L = 4.4\,kW$$

$$\therefore COP_{ref,c} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} \Rightarrow 4.5 = \frac{1}{\frac{20+273}{T_L} - 1}$$

$$T_L = 239.7\,K$$

لاحظ أن T_H هي 20°C وليست 28°C لأن الحوض الكبير المحيط بالثلاجة هو الذي يمتص حرارة مرتفعة.

$$\therefore \eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{20+273}{28+273} = 0.026578$$

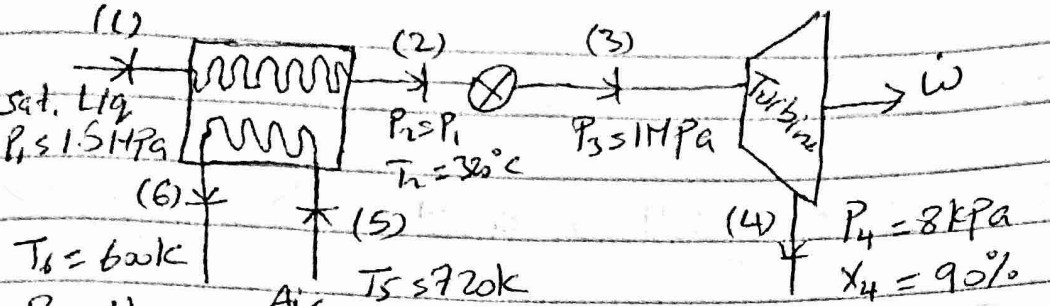
$$\therefore \eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{W} = \eta \dot{Q}_H = 0.1169\ kW$$

وتم بيعها حتى لا سبت الثلاجة ؟!

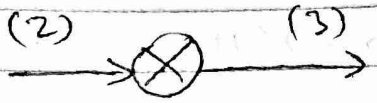
---

5 تصل القدرة المنتجة من التوربين إلى 2MW. بإهمال تأثير طاقتي الحركة والوضع، وباعتبار أن عملية التدفق تتم تحت ظروف مستقرة، وأنه لا يحدث تبادل للحرارة بين الأجزاء والمحيط، وباعتبار سلوك الغاز المثالي للهواء، فأجب عن الآتي: (1) احسب درجة حرارة الماء عند الحالة (3) بوحدة °C. (2) وضح جميع حالات الماء على مخططي T,v و P,v. (3) معدل تدفق كتلة الهواء بوحدة kg/min.

(4) إذا تم استخدام غاز مثالي بدلاً عن الماء مع الحفاظ على نفس الظروف التشغيلية من الضغوط ودرجات الحرارة فكم تتوقع أن تكون درجة حرارة الحالة (3) ؟ وضح إجابتك.



«Solution»



⇒ mass Balance:

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

⇒ Energy Balance:

$$\dot{Q} + \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i\right) = \dot{W} + \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e\right)$$

$$\dot{m} h_i = \dot{m} h_e$$

$$\therefore h_i = h_e = 3081.9 \frac{KJ}{lg} \Leftarrow (A4)$$

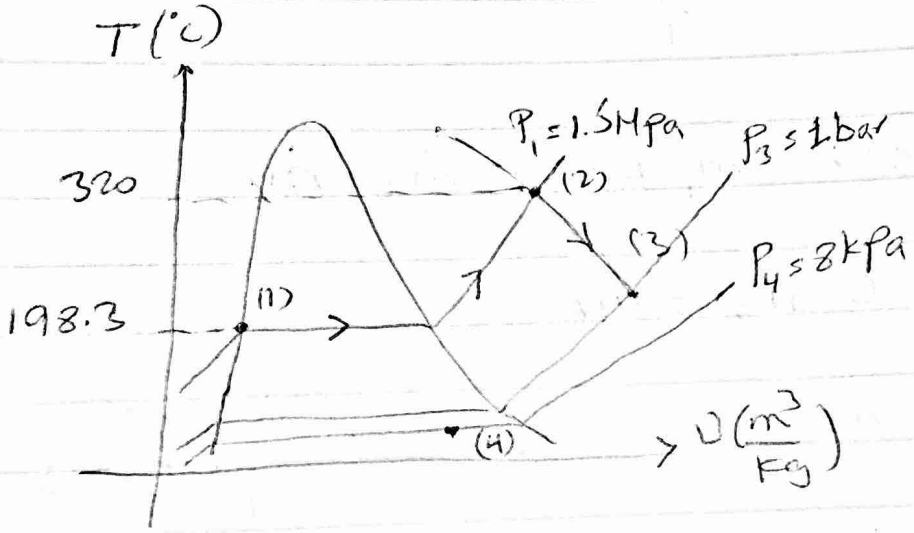
From Table A3: at $P_3 = 1$ MPa $= 10$ bar

$\therefore h_3 > h_g \Rightarrow$ state (3) is superheated Vapor

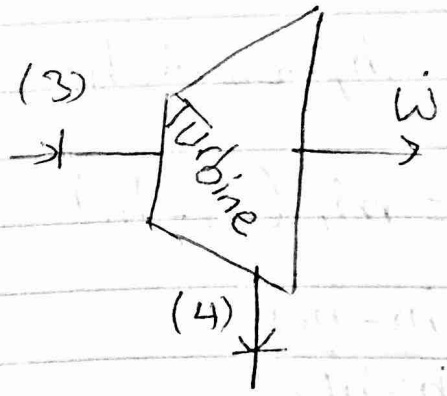
From Table A4:

280°C	3008.2 $\frac{KJ}{Kg}$
T_3	3081.9 $\frac{KJ}{Kg}$
320°C	3093.9 $\frac{KJ}{Kg}$

$$\therefore T_3 = 314.399^\circ C$$



(وبالمثل بالنسبة لـ P_3 مع مراعاة الفرق)



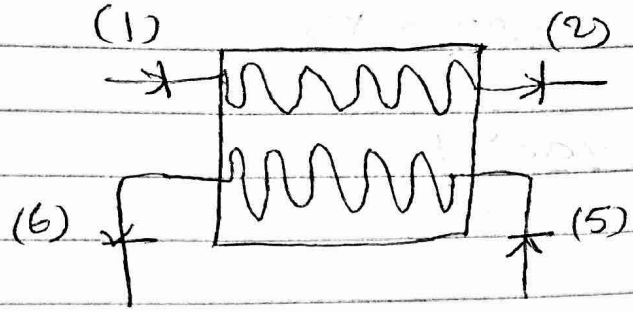
$\Rightarrow$ mass Balance: $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

$\Rightarrow$ Energy Balance: $\dot{m} h_3 = \dot{W} + \dot{m} h_4$

$$\dot{m}(h_3 - h_4) = \dot{W}$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_3 - h_4} = \frac{20 \times 10^3 \text{ kW}}{3081.9 - (h_f + X(h_g - h_f))}$$

$$\therefore \dot{m} = 26.838 \frac{kg}{s} = 1610.28 \frac{kg}{min}$$



$\Rightarrow$ mass Balance: $\dot{m}_1 + \dot{m}_5 = \dot{m}_2 + \dot{m}_6$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ & $\dot{m}_5 = \dot{m}_6$

$\Rightarrow$ Energy Balance:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_6 h_6$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_5 h_6$$

$$\dot{m}_5 (h_5 - h_6) = \dot{m}_1 (h_2 - h_1)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_1 \left(\frac{h_2 - h_1}{h_5 - h_6} \right)$$

$$\dot{m}_5 = 26.838 \frac{3081.9 - 844.84}{734.82 - 607.02}$$

← A3

← A22

$$\dot{m}_5 = 469.7826 \frac{kg}{s} \#$$

الفقرة (4) :- سيكون مساوية لـ T_2 & T_3 فكرتها ؟